雙 月 刊

核能簡訊

NUCLEAR NEWSLETTER

NO.172
2018 June

各國能源政策大比拼



核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER
NO. 172
2018.06 雙月刊

編者的話

我國政府傾全力推動 2025 年非核家園的能源政策，在此前提之下，勢必進行能源轉型，將核能發電所提供 16%的電力，改由再生能源取代；排放大量二氧化碳的燃煤發電比例也希望能逐漸降低，由天然氣彌補電力的缺口。經濟部能源局的目標是 2025 年時的發電結構為可再生能源 20%、燃煤發電 30%、天然氣 50%。

綜觀國際間，能源轉型成功的國家除了政策訂定得當之外，人民對於低碳綠能的意識也要足夠強烈，願意以乾淨能源支持生活中各個層面，才能讓綠能產業蓬勃發展，進一步減緩地球的暖化速度。

2017 年 11 月 21 日台灣永續能源研究基金會與中鼎教育基金會共同委託的「台灣電力使用與能源轉型民意調查」，結果顯示， 95.6%受訪民眾不清楚我國進口能源比例為「95%以上」；知道「燃煤」是台灣主要發電方式的僅有 31.2%；正確回覆成本最高的發電方式為「太陽能」的僅占 17.9%，顯示台灣民眾對台灣能源現況不甚瞭解。此外，近 6 成民眾回答燃煤發電對環境衝擊最大，42.2%民眾認為現行電價昂貴，41.8%民眾卻覺得便宜，看法較為兩極。

有 55.3%受訪者認為綠電比一般用電昂貴，25.8%民眾則是以為一般用電較貴，但有 50.7%民眾願意購買綠電，不願意的占 38.3%。認為綠電較為昂貴的民眾願意購買綠電者占 48.8%，不願意為 42.7%；認為一般用電較為昂貴的民眾，願意購買綠電為 60.6%，不願意占 33.2%，顯示價格仍是台灣民眾在選擇能源類型的重要依據。

另有近 7 成民眾擔心台灣未來會出現缺電或限電狀況 (69.8%)，不擔心者占 28.0%。有關因應缺電和限電措施方面，48.4%民眾認為政府應採取推動節約用電，28.7%認為應增加發電機組，13.4%則支持採取提高電價措施。本次調查結果，僅6.3%的民眾家中有安裝綠能屋頂；44.7%的民眾表示有意願，但尚未安裝；34.4%民眾沒有意願安裝。此外，99.2%受訪者不知道台灣 2050 年的減碳目標，是減到 2005 年的 50%以下，顯示出政府在推動相關政策時宣傳不足。

經過這次調查發現，很多民眾不知道我國無自產能源，98%能源必須仰賴進口；我們屬於獨立電網，不與他國連接，與歐洲國家可以直接用天然氣管線供應，電網可互聯情況不同。另外，天然氣供應還有接收站設置、天候影響船運等條件限制，應避免過於仰賴單一能源遭外國「鎖喉」，影響國家能源安全的情形發生。因此在討論電力供應時，民眾必須明瞭自己的處境和能力。

能源轉型的關鍵在於公民是否願意積極投入，政府在推動相關計畫時，必須加強宣傳的力道，促進民眾對台灣能源現況的正確認知，運用各種優惠措施鼓勵民間參與，透過公私部門協力共進，凝聚全民共識支持綠電、形成全民運動節能省電，才能擴大綠色經濟的成長動能。

目 錄

出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一O一號
電　　話：（03）571-1808
傳　　真：（03）572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
電子郵件：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：朱鐵吉
編輯委員：李四海、汪曉康、陳條宗、郭瓊文、劉仁賢、謝牧謙（依筆畫順序）

主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、翁明琪、林庭安
執　　編：長榮國際　文化事業本部
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：台北市民生東路二段 166 號 6 樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠
行政院原子能委員會敬贈　廣告
台灣電力公司核能後端營運處敬贈　廣告



各國能源政策大比拼

文 編輯室

在網路普及、媒體管道多元化的潮流下，普羅大眾對化石燃料所造成的負面影響如全球暖化、糧食危機等議題瞭如指掌，加上《巴黎氣候協議》定調之後，民眾對發展可再生能源也都抱持樂觀其成的態度，以免氣候變化問題繼續惡化下去。

能源供應除了與環境保護息息相關之外，對經濟發展、國防安全、社會安定的關連也都密不可分。就在我國著手進行能源轉型之際，因為供電不穩定，或是電力調度困難，造成 815 全台大停電，之後又陸續出現小區域斷電的狀況，還引發國際媒體關注與評論，讓人不禁好奇其他國家面臨能源轉型時的能源政策與電源供應占比又是如何？

歐盟

根據英國 Sandbag 和德國 Agora Energiewende 兩家能源智庫聯合發布的最新資料，2017 年歐盟國家發電總量為 3 兆 2,440 億度，其中核電比例達到 25.6 %，是歐盟第一大電源；其他電源占比依次是：天然氣 19.7 %、風力 11.2 %、硬煤 11.0 %、褐煤 9.6 %、水力 9.1 %、生質能 6.0 %、太陽能 3.7%，以及其他化石能源 4.1%。

上述兩家機構另外發布了歐洲能源轉型 2017 年現狀報告，宣布歐盟再生能源發電首度超過燃煤。在燃煤中，硬煤下降 7%，褐煤增加 2%，天然氣發電上升 7%。2016 年核電比例略比 2017 年高，在歐盟範圍內仍以 26.3%的比例穩坐第一電源的地位；排在第二位的電源是燃煤，硬煤與褐煤合占 21.5%；天然氣發電占比 18.6%，排在第 3 位。其他電源比例分別是：水力 10.9%，風力 9.5%，生質能 5.9%，太陽能 3.4%，其他化石能源 4%。

如果將各類再生能源 (水力、風力、生質能、太陽能) 整體計算，2017 年在歐盟發電總量中占比為 30 %，比 2016 年 29.6 %、2015 年 29.2%略有上升，這也顯示歐盟再生能源發展應進入了平緩期。

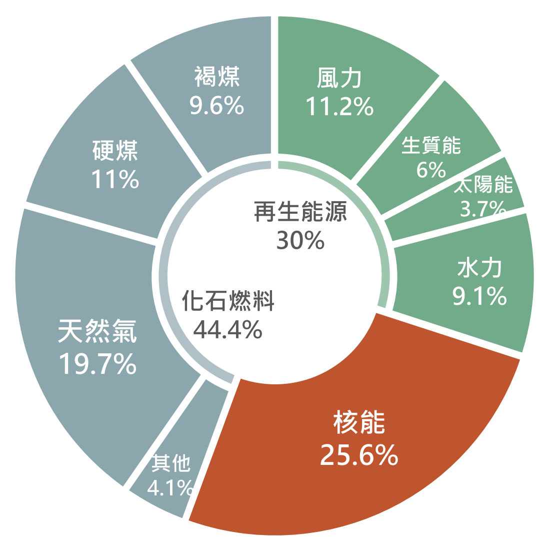


圖 1. **2017 年歐盟地區能源配比**

從碳排放的角度看，由於天然氣發電取代了部分的燃煤，2017 年歐盟的碳排預計沒有太大的變動，與 2016 年均落在 10.19 億噸。

美國

根據美國能源資訊署（EIA）最新發布的資料，2017 年美國發電量平均每天為 110.1 億度，全年 4 兆 186 億度，其中 31.7 % 為天然氣發電，30.1 % 為燃煤發電，核電 20.0 %，非水力的再生能源發電 9.6 %。2017 年美國天然氣發電比例略低於 2016 年（占比 33.8 %），主因是天然氣價格上漲。2017 年用於發電的天然氣價格為每單位 3.33 美元，比 2016 年平均價格上漲 16 %。

當 2017 年 6 月美國總統川普宣布退出《巴黎氣候協議》時，立刻激起了全世界環保團體、本國企業界及各州地方首長的一致譴責，許多城市選擇不理會聯邦政府的決策，繼續朝向清潔能源的長期目標努力。隨後 6 月底，川普在白宮發表美國的新能源政策。

這項新能源政策的重點是：與歐巴馬政府的清潔能源計畫說再見、提高聯邦領土的油氣生產、煤炭產業將獲得重生、風力發電不再傷害瀕危物種、風能與太陽能過高的補貼不再、水力發電產業谷底翻身、天然氣出口將提昇、新一代核能機種將蓬勃興起。

川普強調要「解放美國能源」，除了追求「能源獨立」之外，還要能做到「能源主導」。能源獨立是指美國要增加自產能源的比例，

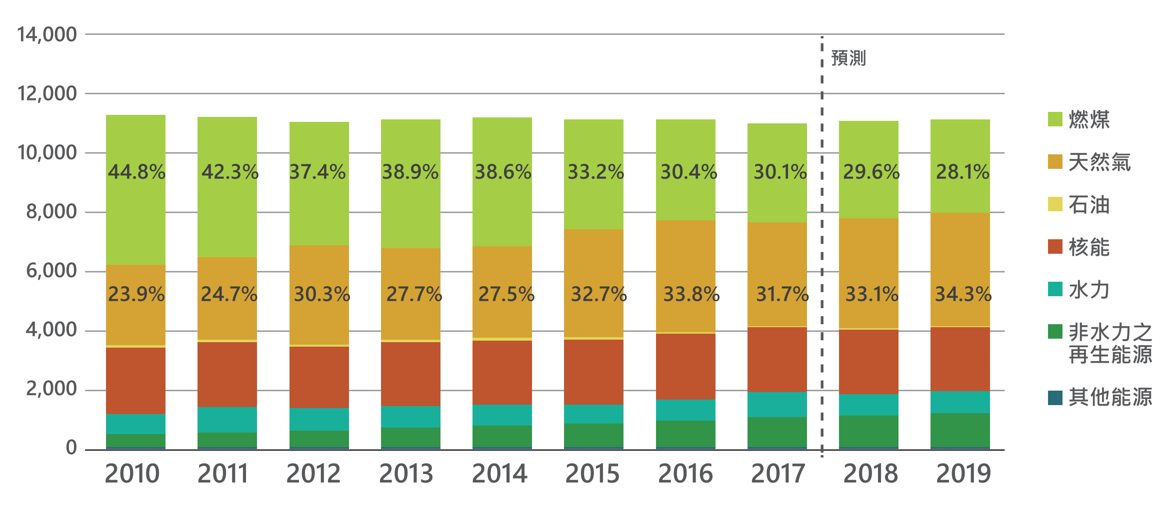


圖 2. **美國電力來源占比 (單位 : 千度 / 天)**

減少對外國能源的依賴，而恢復和擴大美國的核能部門，就是關鍵性的第一步。

美國近年電力供應結構，「以氣代煤」似乎並未提高對於化石燃料的依賴度。調閱 2000-2016 年官方統計，即便天然氣供電比例從 25% 攀升至接近 35%，同時期的煤炭發電比重，卻從以往的過半跌至 30% 左右。在兩條曲線的交錯下，化石燃料對美國電力部門的貢獻度依舊維持在 70% 上下，且呈現緩步走跌趨勢。

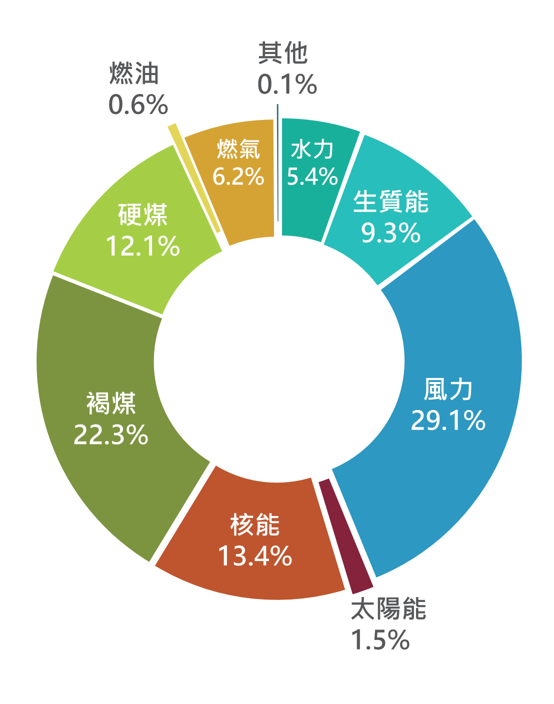
德國

根據 Energy-Charts 的綜合統計，2018 年 1 月份德國發電量為 499.9 億度，其中褐煤 112 億度（22.3 %）、硬煤 60.6 億度（12.1 %）、風力 146.5 億度（29.1 %）、核電 66.9 億度（13.4%）、生質能發電 46.5 億度（9.3%）、天然氣發電 31 億度（6.2%）、太陽能發電 7.9 億度（2.0%）。綜合來看，再生能源發電量達到 227.5 億度，占總發電量的 45.5%。

根據德國能源研究智庫 AG Energie-bilanzen e.V. 公布的德國二氧化碳排放量調查，結果顯示，德國的二氧化碳總碳排量有明顯上升趨勢，於 2016 年更上升了 1%。

該機構指出德國雖然致力減低對煤的使用，及增加可再生能源的使用比率，但是其他化石燃料如天然氣、柴油等使用率都上升，進一步削弱德國實現 2020 氣候目標承諾的可能性。縱然有專家指出天然氣會是解決方法，因為它比燃煤排放出的二氧化碳量少。

燃煤在德國電源結構中仍占 40%，高於歐盟的平均水平。按照德國的能源轉型和溫室氣體減排規劃，目標是 2020 年的溫室氣體排放要比 1990 年下降 40 %。2017 年德國排放比 1990 年下降 28 %；預計 2020 年下降 33%。已經可以確認 2020 年減排目標無法實現，減排缺口約為 9,000 萬到 1 億噸二



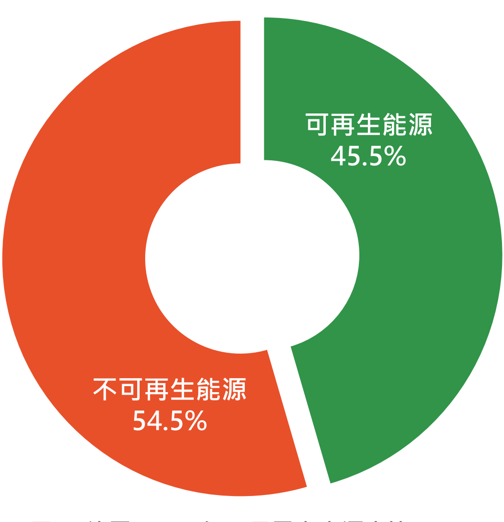


圖 3. 德國 2018 年 1 月電力來源占比

氧化碳當量。德國已經失去了應對氣候變化的領導地位。

根據德國能源與水務協會發布的最新資料，2018 年德國居民以每年耗電 3,500 度計算，平均電價為每度 29.42 歐分（約新台幣 10.53 元），其中上網電價為 6.18 歐分 / 度（占電價的 21%）、過網費 7.27 歐分 / 度（占 24.7%）、增值稅 4.70 歐分 / 度（占 16%）；特別令人關注的再生能源附加費為 6.79 歐分 / 度，占電價的 23.1%。德國電價中僅「再生能源附加費」這一項，就相當於新台幣 2.43 元 / 度，與我國每度電價相當。

雖然德國電費高昂，但是民調顯示民眾大多支持政府能源轉型的政策，願意付出昂貴的代價。有 75% 的受訪民眾認為能源轉型是全社會的責任，包括我自己，大家都要為之努力；14% 的民眾認為能源轉型是件好事，但是我自己做不了什麼貢獻；5% 的受訪者認為最重要的是有充裕並且廉價的能源使用，其他的不重要；另有 3% 的人認為能源轉型是錯誤的，不願意參與。

法國

由於法國擁有核能與水力發電系統，使得法國的發電部門成為全世界溫室氣體排放最低的國家之一。除了水力發電外，風力與生質能為法國主要推行的再生能源技術。另外，法國也逐漸體認到目前以核電為主的發電配比無法長久維持，法國核電廠多數建造於 1970 年至 1980 年間，平均運轉期間已超過 30 年，且改造既有反應爐的技術與成本的不確定性高，因此尋求另一穩定的能源配比也是法國重要目標。

根據法國國家電網 RTE 的資料，到 2017 年 6 月底止，法國發電總裝置容量為 1.3 億瓩，其中核電占 48.2%，燃油發電占 5.1%；天然氣發電占 8.9%；水力發電占 19.3%；風力發電占 9.4%，太陽能發電占 5.3%，燃煤發電占 2.3%，生質能發電占 1.5%。

法國電網公司 RTE 在網上公布了 2017 年法國全境發電平均碳排放的數字：每度 74 克二氧化碳。2017 年法國每度電的碳排放與 2016 年相當（73 克 / 度），但明顯高於 2015 年（44 克），主要是因為法國有數座核電廠因維修停運，天然氣發電比例增加。

法國發電的碳排放來自於火力機組，這些火力機組每度平均的碳排放為：天然氣發電 360 克二氧化碳、燃油發電 800 克、燃煤發電 960 克、生質能發電 980 克。

法國總統馬克宏於 2018 年 1 月 24 日，在瑞士舉行的「世界經濟論壇」上宣布，將於 2021 年關閉所有的燃煤電廠，此時程較前任法國總統歐蘭德提出的 2023 年早了 2 年。法國燃煤發電廠僅提供國家約 1% 的能源，但有 99% 的化石燃料仰賴進口。而 2020 年法國要達到再生能源占最終能源消費的 23% 目標。

英國

英國國家電網數據顯示，2018 年第一季英國海上與陸上風機發電量占 18.8%，首度超過核能的 18.7%。總發電結構中，天然氣 39.4% 最高，燃煤發電持續下降至 9.8%，太陽能只有 2%。所有可再生能源提供全國 26% 電力，加上核能，則可達到 50% 左右。

英國的低碳發電（核電和再生能源）比例首次超過一半，達到 50.4%，比 2016 年（45.7%）增長 4.7%。2017 年核電比例為 20.9%（與 2016 年持平），天然氣發電比例

為40%(2016年為42%),燃煤比例為6.7%(2016年為9.0%,2015年為22%),可再生能源(風力、太陽能、生質能)發電比例為29%(2016年為24.1%)。2017年可再生能源發電量達到989億度,比2016年(832億度)增長19%。

英國政府於2018年1月5日宣布,將於2025年淘汰煤電,屆時未使用碳捕獲與封存的電廠將無法繼續營運,這是政府對一項現存燃煤電廠關廠的諮詢結果所做的回應。英國政府原先宣布預計在2015年淘汰煤電。

儘管如此,英國政府仍傾向於允許燃煤電廠持續在容量市場上競爭,以確保有足夠的電力來滿足需求高峰。若然,能源與氣候智庫(Energy and Climate Intelligence Unit, ECIU)估計,未來5年燃煤電廠仍將獲得8.8億美元補助以維持其營運。此計畫亦將同時允許生質能電廠在排放限制內持續燒煤以維持營運。

在近期內英國及法國相繼宣布將淘汰國內的燃煤電廠,除了呼應國際上對氣候變遷及國內空污的減量需求外,在實質上,歐洲燃煤電力的經濟性已然不再。根據Carbon Tracker提出的一份新的報告顯示,歐盟境內的619座燃煤電廠中有一半以上是虧損的,在2030年前關閉它們將可避免約220億歐元的損失。

日本

歐洲智庫Friends of Europe於2016年發表一份關於後福島核事故的日本能源政策轉型報告中,指出日本社會憂慮能否達成2030年的氣候減排承諾,因為目前的能源效率和可再生能源發展並不樂觀。身為島國的日本,為兼顧減碳排及現實電力需求的衡量,在「2030年能源展望」中,日本政府還確立了核能發電占國家電力結構比重20-22%的折衷方案。(本刊第8-12頁另有專文針對日本的能源配比加以討論。)

我國

經濟部於2017年5月16日說明我國能源轉型路徑規劃,以長短期策略相互搭配,預計2025年時再生能源發電占比為20%、天然氣為50%、燃煤發電為30%,核能0%。

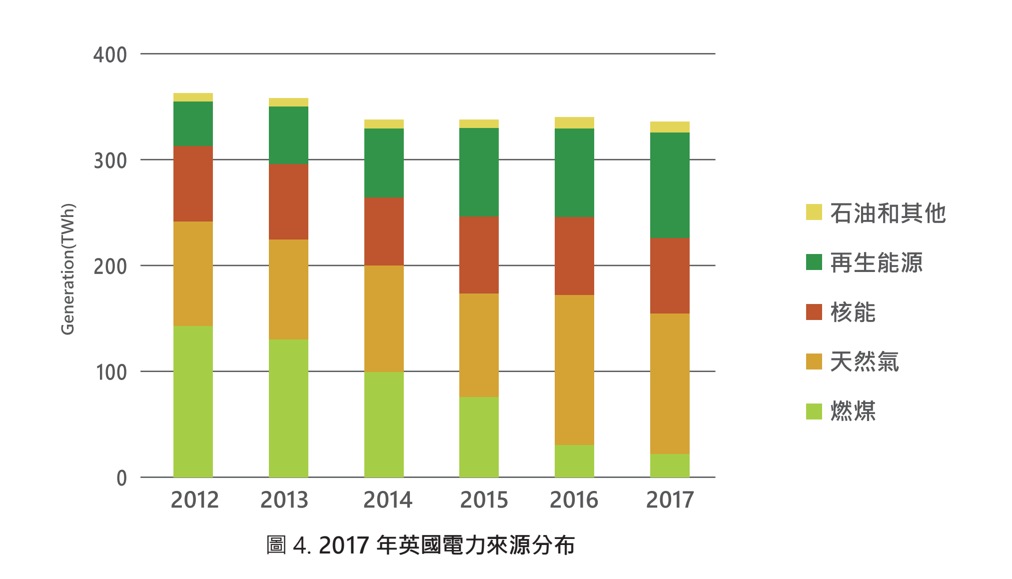


圖4. 2017年英國電力來源分布

經濟部說明，為打造潔淨能源結構與營造永續能源發展環境，我國能源轉型將以發展無碳再生能源，與擴大低碳天然氣使用，逐步降低燃煤發電比例為路徑，訂定 2025 年發電量占比以再生能源提高至 20%、燃煤占比降至 30%、天然氣提高至 50% 為目標，詳如圖 5。

政府提出的能源轉型政策，台電公司表示未來將面臨 7 大挑戰，包括綠電優先併網、非核家園落實、天然氣發電占比提升、法定義務增加備用供電容量及電力排碳係數、需大量的電力建設、地方政府對空污減煤的要求、電業改革新要求。

再生能源間歇性的特質，將影響供電可靠度，因此，台電提出強化電網韌性、增加備轉容量、預測風力與太陽能發電量的變化趨勢、加強併網措施等方式因應；非核家園落實部分，發電缺口依賴天然氣及再生能源替代，如何穩定供電則是首要克服的難題。

經濟部強調，能源轉型是一條漫長，卻勢在必行的道路！

結論

《巴黎氣候協議》使世界各國體認到綠色經濟、再生能源的重要性。無可否認，國家必須擺脫化石燃料，轉向依賴可再生能源是大趨勢。

然而，能源轉型並不是彈指之間就能完成，國家需要在過渡階段平衡現實需要及民眾訴求，事實亦反映了已開發國家在能源轉型期間均經歷多番掙扎和挑戰，遑論其他發展中和落後國家。我國與日本同樣都是島國型態，沒有其他電網的奧援，99.7% 能源必須仰賴進口，因此如何擴大準自產能源的占比，穩定有效的供電，成為我國能源轉型最迫切的課題。

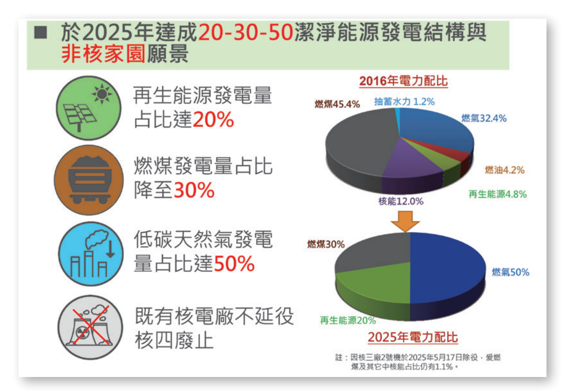


圖 5. 2025 年我國能源轉型的目標與願景

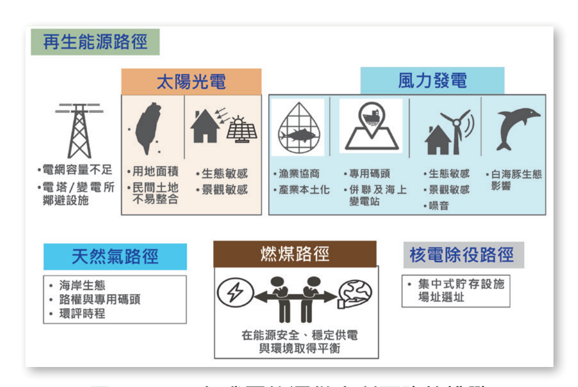


圖 6. 2025 年我國能源供應所面臨的挑戰

參考資料：

1. 歐洲能源轉型還在路上：太陽能發電僅占 3.4%，每日頭條，2017/02/09
2. Table 1.1 Net Generation by Energy Source: Total (All Sectors), 2008-March 2018, EIA, 2018/05/24
3. 川普誓言美國能源將進入黃金時代，核能簡訊 169 期，2017/12
4. 德國可再生能源發電達 45.5%，國際新能源網，2018/02/06
5. 英國風電產量首次超過核電，國際新能源網，2018/05/17
6. 法國陸域風力發電招標案，能源知識庫，2017/05/05
7. 2017 年英國發電結構，集邦新能源網，2018/04/04
8. 能源轉型路徑規劃，經濟部，2017/6/13
9. 核能：能源過渡期的必然之惡，鍾達志，2018/4/25

島國日本的永續能源政策

文 劉振乾



與談人右起豐田正和理事長、台電公司蔡富豐副總經理、中央大學管理講座教授梁啟源博士。

日本 2015 年公布的「2030 年能源政策」中，明訂再生能源將占 22-24%，核能發電 20-22%，煤炭火力發電 26%，天然氣火力發電 27%，石油火力發電 3%。令人好奇在經歷 311 福島事件之後，日本政府如何說服民眾接受這樣的能源配比。

日本能源經濟研究所（IEEJ）以專家之姿主導日本的能源政策，從福島事故後花費 4 年的時間，經過無數次會議、討論，使用核能的正反兩方幾經激烈辯證後，再加以歸納、分析，最終達成共識提出日本 2030 年的能源配比。

日本民眾對於核能安全神話雖已幻滅，但是經過幾年因零核情況所導致的電力短缺、

鉅額貿易赤字、碳排量增加的現實衝擊，故能理性接受專家學者的專業建議。

為了深入瞭解日本能源政策修訂的緣由與過程，4 月 18 日舉行的「2018 台日能源論壇」特別邀請到日本能源經濟研究所理事長豐田正和博士來台演講，主題為「島國日本的永續能源政策」，與談人為中華經濟研究院前院長梁啟源博士。此主題的英文使用「As an Island Economy」，意在日本與台灣有諸多相似之處，頗有畫龍點睛之趣。

豐田正和理事長曾任職日本經濟產業省達 30 多年，以「經濟產業審議官」退休。多年的歷練讓他主持排名世界三大能源經濟研究所之一的日本能源經濟研究所，遊刃有餘。他也擔任日本政策研究大學院大學 (GRIPS) 的客座教授。豐田理事長論述的重點放在「永續」這兩字，一個國家的能源政策如果無法「永續」，那麼國家前途危如累卵，談不上經濟有什麼發展的可能性。

日本為什麼需要改變能源配比？

豐田理事長指出，311 福島事故發生前，2010 年日本政府曾發表「2030 年能源供需結構估計」與 2015 年公布的版本差異何在？

日本在 2010 年版本約 4 成的能源自給率，2015 年版本仍然堅持有 24%，也就是 13% 再生能源加上 11% 的核能發電。在「電力結構」方面，2010 年版本是 49% 核能發電加上 19% 再生能源，在準自產能源接近 7 成。

但是 311 後，反核情勢大漲，只好將核能發電減半，2015 年版本核能發電為 20-22%，再生能源則微增為 22-24%。換個角度來看，就是在 311 之前，日本就有意大力推廣再生能源了。因此核能發電造成的缺口就由燃煤發電 (由 14% 成長為 26%) 以及燃氣發電 (由 14% 成長為 27%) 來彌補。

總的來說，由偏重核能發電改為多樣性，

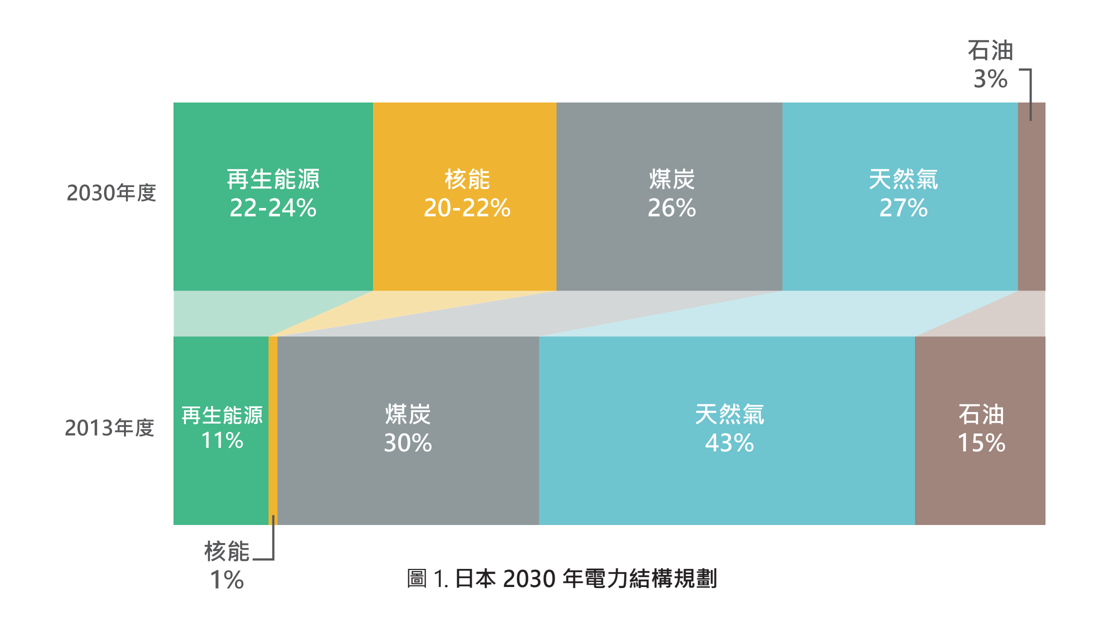


圖 1. 日本 2030 年電力結構規劃

燃煤發電與燃氣發電都成為支柱，其出發點是「永續」，重視「永續」，才能國泰民安。藉著徹底的節能省電，以及最大可能的發展再生能源，大幅度降低對核電的依賴程度。

徹底的節能省電使用 3 個絕招：一為更新製造設備，二為活用資訊產業 (IT)：包含工廠、大樓、家庭的能源管理系統以及智能運輸系統 (ITS)，例如發展無人駕駛系統；第三則為建築物的節能。

下列 4 大部門節能對策，預計到 2030 年可實現共約 5,030 萬公秉 (KL) 的節能成效。

一、產業部門：

1. 主要在 4 個業種——鋼鐵、化學、水泥、紙業，推動低碳社會實行計畫。
2. 徹底執行工廠能源管理，改善能源效率。
3. 開發並引進革新的技術，比如引進 course50 的煉鋼技術，可以減少 30% 的二氧化碳排放。
4. 引進高性能鍋爐等高效率設備。

上述措施約可節能 1,042 萬公秉。

二、運輸部門則以普及新世代汽車為重點，約可節能 1,607 萬公秉。

三、業務部門：

1. 規定新建的建築物必須符合節能基準。
2. 普及 LED 等高效率照明。
3. 約半數的建築物引進建築物能源管理系統 (BEMS)，約可節能 1,226 萬公秉。

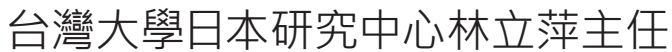
四、家庭部門：

1. 規定新建的住宅必須符合節能基準。



精心策畫 2018 台日能源論壇的有功人士




台灣大學日本研究中心林立萍主任


會場坐滿關心台灣能源政策的民眾

2. 引進 LED 等高效率照明。

3. 全部的住宅引進家庭能源管理系統 (HEMS) 來達成節能 1,160 萬公秉。

當然，形成全民運動是關鍵所在，民眾必須認知節能是人人要做的事。

多樣化的能源結構

日本國家能源結構面臨到的問題有：

一、能源安全 (Energy Security)：能源供應體制基本的脆弱性，也就是在能源安全保障上有太多的問題。

二、經濟效率 (Economic Efficiency)：能源價格的不穩定。

三、環境友善 (Environmental Friendliness)：溫室效應氣體排放量的增加。

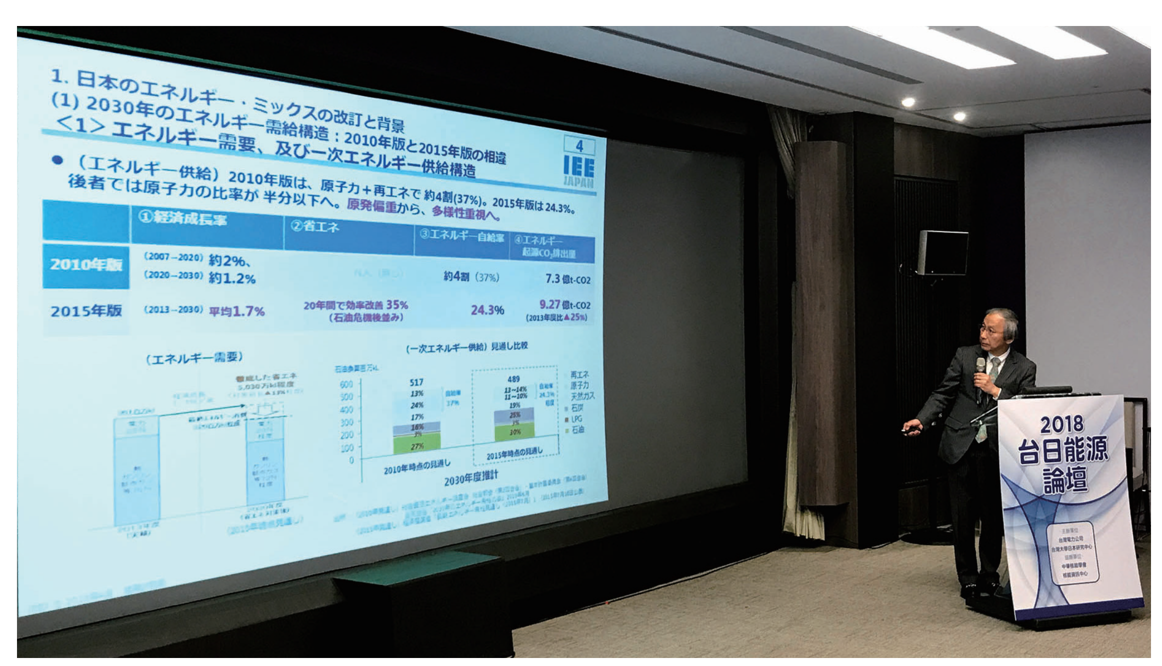
以上通稱為 3E 問題。福島事故發生後，讓世人不得不重視安全 (Safety) 問題。因此 3E+S：穩定供應、經濟效率性、適合環境、安全性就成為能源政策的根本關鍵。

日本在 2015 年制定 2030 年能源配比的時候，體認到沒有一樣能源能夠完全符合上述 3E+S 的要求，只能退而求其次，以多樣化的能源結構來實現此要求。在能源安全保障上，自給率要超過福島事故前，達到 25%。經濟效率上則要求電力價格要比目前為低。降低溫室氣體排放量的目標不輸給歐美，且要居於世界領先地位。同時盡可能降低對核電的依賴度。

更重要的是，能源政策要保持彈性，定期修正，才能符合國家的長遠利益。因此要配合每 3 年檢討一次的「能源基本計畫」，有必要時則調整能源配比。

從「3E」觀點看核能發電

首先談能源的安全保障，國際能源情勢的不安定性所造成的風險，第一為頁岩油革命與急速下跌的原油價格。現在原油雖然廉價，但是從 2017 年 10 月到 2018 年 2 月，由日本能源經濟研究所、國際能源總署 (IEA)、美國能源部能源情報局 (DOE/EIA)



主講人豐田正和理事長曾任職日本經濟產業省達 30 多年，並主持排名世界三大能源經濟研究所之一的日本能源經濟研究所。

陸續公布的 2030 年原油價格預測值，都在每桶 93~95 美元之間。

第二為地緣政治日漸高漲的不安定性。在中東有 7 項不安定因素，俄羅斯併吞屬於烏克蘭的克里米亞半島，引起俄羅斯與歐美國家的對立。在亞洲則是南海島嶼的爭端與海上航行權的紛爭。北韓的挑戰則讓東北亞處於緊張狀況。未來如果發生緊急情勢，將造成每天減少 1,000 萬桶原油的供應，實質 GDP 受影響的程度，台灣高居全球第 4 位，為負成長 13.7%；中東居首，負成長 23%，日本第二，為負成長 14.9%。

台灣要居安思危，謀求因應之道。能源的安全保障對於日本或是台灣等島國都是生死攸關的大事。

安全沒有問題嗎？

核能在技術上是沒有安全的問題。福島電事故的發生可歸咎於海嘯所導致的「全電源喪失」，可稱之為「人禍」，本來是可以避免的。經由管制制度的改進，日本目前已有 8 部機組恢復運轉。值得一提的是，在反核聲勢高漲之下，2017 年 2 月，讀賣新聞的一項民調，有 7 成多的民眾認為核電百分比應該要比 311 之前減少的情形下，執政的自民黨仍然堅持以國家利益高於政黨利益的立場，持續推動核電。

（本文作者為台電公司退休工程師）

2040 年世界能源展望

譯 朱鐵吉



國際能源署 (International Energy Agency, IEA) 於 2017 年 11 月發表「2040 年能源展望（World Energy Out-look）」，概略介紹如下：

預定三種情境

這份報告書每年 11 月發行，是預估世界長期能源電力動向的經典之著，2017 年版延續前一年的預測，包括電力與能源，對 2040 年的展望做了概括的預測，提出下列三種情境：

1. 現狀情境：依據法規執行所做的預測。
2. 標準情境：追加改進措施後的預測。
3. 永續發展情境（SD）：改善環境與資源問題的預測。

為了抑制全球增溫在 2℃以下以及溫室氣體（GHG）濃度在 450ppm 以下，所追加的改進措施，另稱為「450 情境」。IEA 依照 3 種情境進行預測，2017 年版從「450 情境」至「永續發展情境」，並沒有太大的變化。為達成巴黎氣候協議決定的 GHG 削減目標，以及聯合國的「永續開發目標」，預測至 2030 年人們在使用能源時，已考慮到大氣污染而將大幅改善。

表 1. **化石燃料輸入價格預測(2040 年)**

種 類	價格 (單位)	2016年	2040年
石油	IEA輸入價格 (美元 / 桶)	41	64~136
天然氣	美國價格 (美元 / MBtu)	2.5	3.9~6.5
	歐洲輸入價格 (美元 / MBtu)	4.9	7.9~10.5
	中國輸入價格 (美元 / MBtu)	5.8	8.8~11.1
	日本輸入價格 (美元 / MBtu)	7.0	9.0~11.5
煤	美國價格 (美元 / 噸)	49	55~67
	歐洲輸入價格 (美元 / 噸)	63	64~95
	中國輸入價格 (美元 / 噸)	80	77~101
	日本輸入價格 (美元 / 噸)	72	68~101

註：2016 年為實質價格，2040 年價格依局面不同而有差異。
參考資料：「IEA 世界能源預測」(2017 年版)

美國頁岩氣繼續生產

化石燃料價格顯示於表 1，美國今後的價格不致於大幅增加，2017 年版比前一年的預期下降。這是因為美國大量開發頁岩氣的原故，今後也將繼續開發。美國目前已成為天然氣輸出國，2020 年代後半期預計將成為石油輸出國。

能源應用的電氣化

能源供給預測顯示於表 2，今後所有情境都趨向增加，但是先進國家有效推動節能措施，因此比前一年的預測略微向下修正。今後中國持續大幅的經濟成長，中國和印度是亞洲的中心，全世界的 GDP 年平均成長 3-4%，預計人口將從 74 億增加至 2040 年的 90 億，能源需求也將增加 30%。

另一方面，電力需求顯示於 16 頁表 3，增加的 60% 能源需求中，有 40% 消費在電力方面。今後發展中國家的需求將增加，先進國家在交通、空調以及電氣化的大幅進展，電力消費也將大增，特別是先進國家致力發展電動汽車等運輸工業。標準情境預測 2040 年將有約 2.8 億部電動汽車導入，占乘用車的 15%。

價格下降導致風力和太陽能大幅增加

由表 2 所示的能源供給，標準情境中煤、石油比例下降，天然氣和再生能源比例上升。表 3 顯示世界電力供給情形，由標準情境可瞭解，冀望燃煤火力占比由目前的 37%

表2. **世界能源供給預測(2040 年)**

<table>
<tr><th></th><th colspan="2">2016年 (暫定)</th><th colspan="6">2040年 (預測)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">石油換算
百萬噸</td><td colspan="2" rowspan="2">13,760</td><td colspan="2">現狀情境</td><td colspan="2">標準情境</td><td colspan="2">永續發展情境</td></tr>
<tr><td colspan="2">19,299</td><td colspan="2">17,584</td><td colspan="2">14,084</td></tr>
<tr><th colspan="9">供給比率(%)</th></tr>
<tr><td>煤</td><td colspan="2">26</td><td colspan="2">26</td><td colspan="2">22</td><td colspan="2">13</td></tr>
<tr><td>天然氣</td><td colspan="2">22</td><td colspan="2">24</td><td colspan="2">25</td><td colspan="2">25</td></tr>
<tr><td>石油</td><td colspan="2">32</td><td colspan="2">39</td><td colspan="2">28</td><td colspan="2">23</td></tr>
<tr><td>核能</td><td colspan="2">5</td><td colspan="2">5</td><td colspan="2">6</td><td colspan="2">10</td></tr>
<tr><td>水力</td><td rowspan="3">15</td><td>3</td><td rowspan="3">16</td><td>3</td><td rowspan="3">19</td><td>3</td><td rowspan="3">29</td><td>4</td></tr>
<tr><td>生質能・廢棄物</td><td>10</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td></tr>
<tr><td>其他再生能源</td><td>2</td><td>4</td><td>6</td><td>14</td></tr>
</table>

參考資料:「IEA 世界能源預測」(2017 年版)

下降至 2040 年的 26%,取而代之的是再生能源由 23% 躍升至 40%,核能、天然氣則分別為 10% 和 23%,與現在的電源占比大致相同。

燃煤火力自 2000 年以來共建設了 9 億瓩容量,至 2040 年為止將再增加 4 億瓩。特別是先進國家為了削減二氧化碳排放,今後將逐步轉換為天然氣、再生能源及核能等低排碳電源,如印度,目前燃煤電力占比為 75%,未來將減少至 50%。

另一方面,再生能源中的風力、太陽能,2017 年版比前一年的預測大幅增加。由表 3 的標準情境顯示,風力發電由目前的 4% 上升至 11%,太陽能從 1% 增至 9%,除去水力,再生能源總發電占比從 7% 上升至 24%,永續發展情境更顯示上升至 44%。增加的原因,來自種種補貼政策,以及風力和太陽能發電的成本大幅下降。

總的來說,與 2010 年相比,成本下降的比例,太陽能 70%、風力 25% 和蓄電池 40%,今後會再繼續下降。這些電力來源在歐盟已漸漸普及,最近中國、印度亦大量導入,這種趨勢將持續下去。歐盟新設定的電力來源 80% 以再生能源為主,2030 年風力將成為歐盟電力來源的最大占比。2040 年中國風力電源的占比預計也將達 13%、太陽能 11%。

核能發電的裝置容量將從目前 4.1 億瓩增加至 5.2 億瓩,發電量占比從 11% 微減至 10%,比較之下,核能增加的幅度較小。實

表 3. **世界電力供給預測(2040 年)**

<table>
<tr><th></th><th colspan="2">2016年 (暫定)</th><th colspan="6">2040年 (預測)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">發電量
(10億度)</td><td colspan="2" rowspan="2">24,770</td><td colspan="2">現狀情境</td><td colspan="2">標準情境</td><td colspan="2">永續發展情境</td></tr>
<tr><td colspan="2">42,321</td><td colspan="2">39,290</td><td colspan="2">35,981</td></tr>
<tr><th colspan="9">電源別比率(%)</th></tr>
<tr><td>煤</td><td colspan="2">37</td><td colspan="2">34</td><td colspan="2">26</td><td colspan="2">6</td></tr>
<tr><td>天然氣</td><td colspan="2">24</td><td colspan="2">25</td><td colspan="2">23</td><td colspan="2">15</td></tr>
<tr><td>石油</td><td colspan="2">5</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">1</td><td colspan="2">1</td></tr>
<tr><td>核能</td><td colspan="2">11</td><td colspan="2">9</td><td colspan="2">10</td><td colspan="2">15</td></tr>
<tr><td>水力</td><td rowspan="6">23</td><td>16</td><td rowspan="6">31</td><td>14</td><td rowspan="6">40</td><td>16</td><td rowspan="6">63</td><td>19</td></tr>
<tr><td>風力</td><td>4</td><td>8</td><td>11</td><td>19</td></tr>
<tr><td>生質能・廢棄物</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr>
<tr><td>地熱</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td></tr>
<tr><td>太陽能</td><td>1</td><td>5</td><td>9</td><td>18</td></tr>
<tr><td>海洋</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
</table>

參考資料:「IEA 世界能源預測」(2017 年版)

際上，中國正在大力建設核能，而 OECD 會員國因廢爐而漸漸減少裝置容量。

中國的動向為重要關鍵

IEA 表示，未來中國會大幅影響世界能源的動向，2017 年版中另有「中國特集」。IEA 表示「中國若有改善，世界也隨之改變。」中國的電力消費世界第一，在世界的能源和電力的占比最大。中國致力於能源的革命以對抗大氣汙染，今後電力來源將從燃煤漸漸改為天然氣、再生能源和核能等綠能，目前正強力推動這種能源轉型的政策。標準情境顯示，中國的燃煤將從 67% 下降至 39%，再生能源(包含水力)從 26% 上升至 42%，核能從 4% 增至 11%，天然氣從 3% 增至 8%。

從削減二氧化碳排放來看，依標準情境顯示，世界二氧化碳排放量 2017 年比 2016 年增加 12%，未達成巴黎氣候協議的目標，甚至還距離很遠。以永續發展情境(比 2016 年減少 43%)顯示的目標，仍有待各種政策的大力支持。

(本文作者為清華大學原子科學系榮譽退休教授)

資料來源:
東海邦博,「IEA 世界能源預測(2017 年版)」,Energy Review, Feb. 2018, Vol.38, No.2, p.56-57



日本高放射性廢棄物處置場選址的最新進展

文 編輯室

由於日本用過核燃料採用再處理，最終處置的方向與台灣不大相同。在 1999 年確認在技術上可執行境內深地層處置後，日本即在 2000 年 6 月制定了《特定放射性廢棄物最終處置相關法律》，規定由再處理所產生的高放射性廢棄物（即玻璃固化體），必須埋在地下 300 公尺處進行最終處置，並成立專責機構「日本原子力發電環境整備機構（NUMO）」來負責處置相關作業，也同時設立了相關調查程序，謹慎地進行國內高放射性廢棄物最終處置場選址作業。

選址三階段調查程序

這項選址調查程序分三個階段，第一階段是替具有科學可行性的場址，以文獻資料進行「文獻調查」，評估該地點過去地震的紀錄、周圍活斷層與火山位置等。第二階段的「概要調查」是自地表利用鑽孔的方式，替岩石、地下水的特性與狀態進行評估。第三階段的「精密調查」，則是在地下設施完成通道挖掘後，再進行更細部確認地下的情況是否適合，總共約需要 20 年的時間，來確

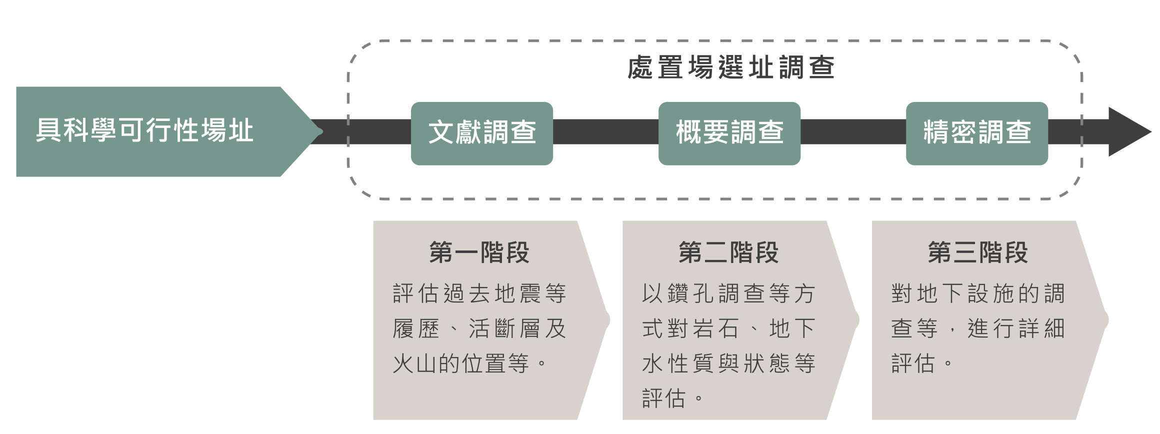


圖 1. **日本立法決定之最終處置場選址三階段調查程序。**（圖片來源：行政院原子能委員會）

認三個階段的結果在技術上均可行，且具備一定安全性。另外，NUMO 在每個階段都必需聽取地方政府的意見，當面臨到「在技術上可行，但當地政府不希望繼續進行」的情況時，NUMO 則必須終止於該地區的選址流程。

日本在 2002 年 12 月，開始公開招募自願接受場址調查的地區。位於高知縣的東洋町在 2007 年 1 月向其提出正式申請，在進行調查的同時，持正反意見的雙方持續爭論不休，該申請案也在同年 4 月的町長選舉後遭到撤銷，在那之後至今也都沒有收到任何候選場址的申請，日本高放處置作業也未開始第一階段的文獻調查，發生於 2011 年的福島事故也導致選址作業更難進行下去。

最終處置基本方針修訂

由於選址持續陷入困境，日本在 2013 年底成立了與最終處置相關之部長級委員會與工作小組，政府開始對處置作業重新進行嚴格的審查，就潛在場址的選址做出檢討與改善，並以日本最終處置法為依據來修改基本政策。在多次研議經內閣通過後於 2015 年 5 月宣布修訂後之基本方針，修改內容共有五項重點：

1. 廢棄物的處置為本世代的責任，不應為將來世代帶來負擔，希望能找出對未來世代最好的辦法來進行最終處置；
2. 應促成全體國民、地方自治體的諒解，對願意於該處設置最終處置場的居民懷抱敬意與感謝；
3. 日本政府需要帶頭領導最終處置的發展，當發現符合相當地質條件的地區時應由政府來公布；
4. 需注意與當地民眾的對話，並對處置工作有貢獻的地區給予全面性的支援；
5. 推動處置作業體制的改善。

選址三階段調查於 2015 年公布基本方針修改後，在開始第一階段的文獻調查前新增了幾個步驟。在開始文獻調查前，需由政府進行全國科學特性審查，將地質條件合適的地點以「地圖」的方式呈現，並在各地召開相關說明會，主旨在與各地民眾建立對話，也希望地方政府在了解最終處置後，願意提出作為候選場址的申請。另外，政府需要就地質合適的地區主動向其建言，這也是基本方針在修改後新增的部分。

而這份「地圖」在 2015 年公布修改最終處置基本方針後，即由多位專家學者就候選場址必須具備何種條件、基準又該是如何，加上融入相關學會的情報意見等，花了約 2 年的時間進行相關討論並制定基準，也在 2016 年的夏天，邀請經濟合作暨發展組織核能署（OECD-NEA）進行同儕審查（peer review），隨後完成這份「科學特性地圖」的編制，於 2017 年 7 月底時由經濟產業省公布於 NUMO 網站。

科學特性地圖

由於地質處置設施建於深地層中，在建設、運轉處置設施的時候都需要考慮到大量的地質因素，也因為有人類無法控制的因素存在，在制定基準時，就必須避免將處置設施建設在未來有可能發生問題的地方，像是位於火山、活斷層附近，以及未來會有可能進行開採、挖掘的地方（即有礦物資源處）；地層有隆起、侵蝕、地熱活動頻繁、地層軟弱等區域也需要避免。除了列出不適合之因

日本於 2015 年公布之最終處置基本方針修訂內容

1. 當世代的責任與將來世代的選擇

- 穩健的執行地質處置，不願將負擔遺留至將來世代，期望能選出對未來最好的方法；
- 埋至地底下的廢棄物在未來是以可取出、具有可逆性的方向為目標，希望能同時開發出其他替代性的處置方法供未來選擇。

2. 促成全體國民、地方自治體的諒解

- 對實現最終處置有貢獻的區域與居民懷抱敬意與感謝，必須將利益回饋給當地居民；
- NUMO 會盡力的向各地方政府提供最新訊息，並不間斷地進行溝通。

3. 政府需要帶頭努力

- 最終處置需要由政府（即日本經濟產業省）站在最前線來執行，當 NUMO 發現在地質條件上很適合的地區時，「國家」需向該地方自治體提出建言，促請各地方政府一同合作。

4. 對處置作業有貢獻的地方給予支援

- 選址時與當地不同意見的民眾需有效地建立「對話」式的溝通；
- 在地方自治體接受於當地建設處置場後，將為該地區提供全面性的支援措施，為該地區的永續發展做出貢獻。

5. 推動處置作業體制的改善

- 強化 NUMO 的體制；
- 為確保民眾信賴，內閣府原子力委員會介入的程度需要明確化，並不斷的進行相關評估作業；管制機構原子力規制委員會則會根據調查進度提出須考慮到的安全相關事項；
- 擴大用過核燃料貯存能力。

資料來源：日本原子力發電環境整備機構

表 1. **日本科學特性地圖製作要素一覽**

地點不適合的要素	
火山、火山運動	火山周圍（防止岩漿穿透處置場）
斷層活動	活動斷層影響大的地方（防止由斷層移位造成處置場受破壞）
隆起、侵蝕	預計在未來會因海平面上升與下降而面臨大量侵蝕的地方（防止處置場明顯的靠近地面）
地熱活動	擁有大量地熱的地方（防止人造屏障的功能降低）
火山性熱水、深層流體	地下水酸度高的地方（防止人造屏障的功能降低）
軟弱地層	地層軟弱的地方（防止地下處置設施在施工、運轉期間崩塌）
火山碎屑氣流	火山碎屑流等（防止地面處置設施在施工、運轉期間遭到破壞）
礦物資源	礦產資源分布的地方（防止因開採導致的人為入侵）
地點符合期望的要素	
輸送	近海岸且陸路輸送容易的地方

資料來源：日本原子力發電環境整備機構

素以外，NUMO 也為每項因素制定了基準，來定義超過哪個範圍則屬於地質不適合之地區，如在火山半徑 15 公尺內都屬於火山周圍區域，地下水酸鹼值若小於 pH 4.8 就屬於酸度過高等。

而從運輸的角度來看，離海岸比較接近，則未來在運輸的時候會比較方便。日本現在的玻璃固化體，均暫時存放在青森縣六所村的高放射性廢棄物貯存管理中心，在運輸的過程中主要使用海運來運輸，僅有極短程的陸路運輸。除了需要考量到這些運輸工具在一天之內可移動的時間，還有恐怖攻擊等因素，陸路運輸的距離也是越短越好，因此若是靠近沿岸 20 公里內為最理想的狀態。

在這份科學特性地圖中使用了 4 種顏色來區分地域特性，只要符合任何 1 項與火山或地層有關現象的地區就會以橘色來表示，占全地圖約 30% 的面積；與地下礦產（石油、天然氣、煤炭、金屬礦物等）資源有關者則會以銀色來表示，占全地圖約 5% 的面積，

表 2. **日本科學特性地圖分布**

依區域特性以顏色分類		占日本全國面積比例	所涵蓋的地方自治體數量
橘色		約30%	約1,000個
銀色		約5%	約300個
綠色	淺綠色	約35%	約900個
	深綠色	約30%	約900個

資料來源：日本原子力發電環境整備機構

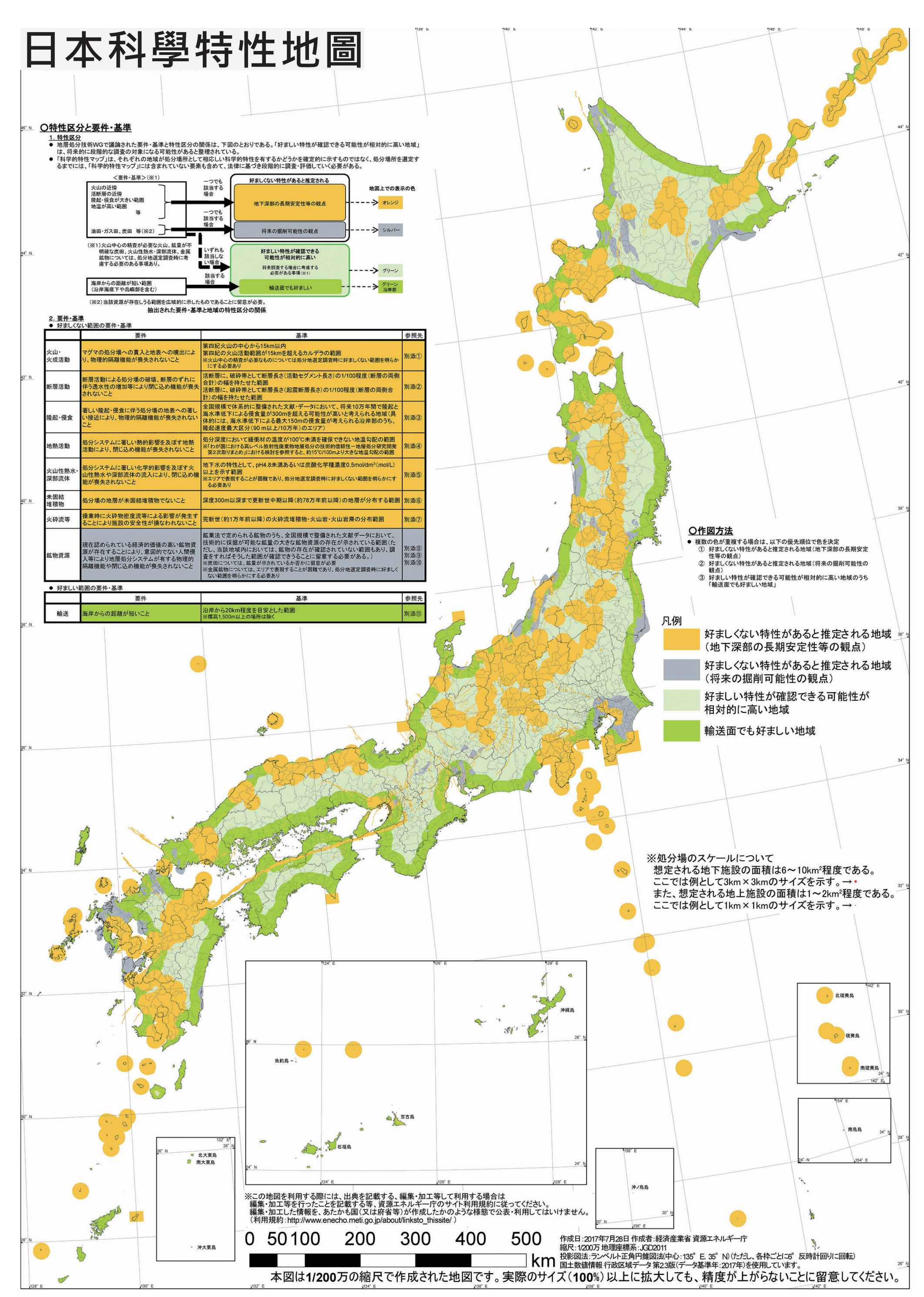


圖 2. 日本經濟產業省就高放射性廢棄物最終處置場場址所公布的科學特性地圖，淺綠色區塊為潛在適合區域，占全地圖面積的 35%，靠海岸的綠色區塊為「更合適」之區域，占全面積的 30%，橘色與灰色區塊則為不適合建設處置場場址的地區，分別占全面積的 30% 與 5%。（圖片來源：日本經濟產業省 /NUMO）。

兩處均不適合當作處置場場址。若沒有符合橘色或銀色等不適合的因素，又能夠在當中找到稍微符合理想與可能性的話，就有可能是「比較合適」的地點，以綠色來表示，占有超過 60%的面積。

NUMO 對此做出解釋，相關專家學者在定義何謂「合適」上相當謹慎，認為在說明上要非常小心，雖然是「比較合適」的地點，仍需要進行選址程序第二階段：經由詳細的鑽孔、地質調查，才可決定該地點是否適合設立處置場，因此只能說這些區域「有希望」，但這並不表示這些不是橘色或銀色的區域，就是適合設立處置場的地區。而深綠色的區域，則是位在靠近沿海 20 公里內，合適的因素又多了一項，面積也約占全地圖的 30%。

此外，NUMO 也強調，這份科學地圖並不是為了要公布處置場場址的地點，是為了配合在各地召開的說明會，讓全日本國民藉由該地圖來了解什麼是地質處置，以「在備有科學特性的情況下秉持客觀、公正的立場，即使是不同的讀者來看都可以得到一樣的結論」為目標。這份科學地圖是經由國家級審查委員會，經過慎重的討論後才公布，目前公布科學地圖僅是整個深層地質處置場計畫的一個開始，NUMO 希望能開啟更多、更長遠的討論與對話，也表示未來還有很長的路要走。

與各地民眾的溝通

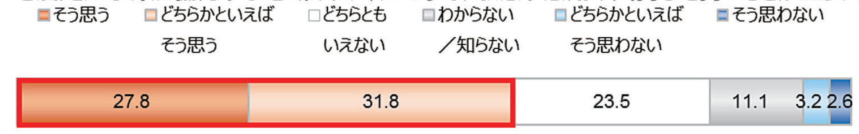
自 2015 年 5 月公布新式最終處置基本方針起，日本經濟產業省與 NUMO 就已開始於各都道府縣，分區地進行座談會，表達了「面對面溝通」的重要性。而座談會主題除了與最終處置有關的議題（如地層處置的必要性、處置基本方針修改的背景與內容、該如何進行地層處置等）之外，還涵蓋了與科學特性地圖、國家能源配比、核燃料循環政策有關的議題等。

在公布科學特性地圖後，NUMO 也於今年 5 月在國內大規模的召開「與科學特性地圖有關之『對話型』全國說明會」，希望能提高民眾對整個用過核燃料政策的關心，以及理解其重要性。同時，若有地區向 MUMO 提出疑問時，NUMO 就必須針對其要求來回覆與說明。NUMO 希望能透過與不同地區的對話，提升大眾對最終處置的接受度，進而找到適合的地點。

在完成全國各地的說明會後，NUMO 則會以科學地圖上深綠色、位在海岸的地區為主要，進行更進一步、更仔細的意見交換活動，對有興趣了解的地區團體將邀請專家（如日本原子力研究開發機構或 NUMO 職員）至該地區擔任講師，也會邀請民眾至相關地下研究設施進行參觀，或至小學、國中、高中與大學等學校授課等。

除了解說與安全、技術方面相關的問題之外，如何與當地居民進行地域共生等「社會性的議題」，也會是溝通的重點之一。NUMO 表示，為了提高各地區民眾對處置設施的接受度，必須對當地民眾有一定的了解，這也包含當地民眾所期望的未來規劃等，當然這些長期規劃不應是 NUMO 強加在該地區上的，必須也是當地居民所希望、期待的樣貌，NUMO 表示會提出例子供民眾描繪出自己希望的願景。

另外，在新式基本方針中的第二點提到，人民必須對接受處置設施的地區與居民懷抱



「地層処分事業に協力する地域に対して、経済的・財政的な支援を行うことは適当である」と回答した者の割合

そう思う　どちらかといえば そう思う　どちらとも いえない　わからない ／知らない　どちらかといえば そう思わない　そう思わない

26.8　31.2　24.3　11.3　3.6　2.8

【出所：NUMO実施のアンケート調査】
時期：2017年2月
対象：全国20～60才代の男女
方法：インターネット
サンプル数：10,000

圖 3. **NUMO 所進行的最新網路問卷調查，結果顯示其中 (紅框內) 有超過 5 成對接受處置設施的地區抱有敬意與感謝的想法 (上)，也有約 5 成的受訪者贊成應給予設置地區於經濟、財政上的支援 (下)。**(圖片來源：NUMO)

著敬意與感謝，是要讓「全國國民」都要有這樣的想法。NUMO 透過於今年 1 月進行的網路問卷調查 (受訪人數共 10,000 人)，發現國民普遍對接受處置設施建設的居民是懷抱著敬意與感謝的，調查結果顯示有超過 5 成的受訪者，對接受處置設施的地區抱有此想法，是一個很正面的結果。而覺得應給予設置地區於經濟、財政上的支援，也有超過 5 成的受訪者贊成此做法，可見國民對處置議題的認知狀況已有改善。

而關於如何給予處置設施地區支援，NUMO 也以瑞典為例子，瑞典最終處置場已確定將設在位於斯德哥爾摩北方的 Östhammars 市，而 Östhammars 的市長在 2016 年於東京舉辦的一場國際研討會中，對此表達了「最終處置場並不是垃圾場，而是一個結合高科技的工業地區，所帶來的利益與好處將由市民一同共享」的看法，期望日本能以此借鏡。NUMO 近期的目標是透過於全國舉辦的說明會，與各地區的居民建立良好的對話關係，加深對彼此的了解，也希望能藉由這個過程，篩選出數個可開啟三階段選址調查程序的地點，進行更深入的處置研究。



資料來源：
1. 經済産業省資源エネルギー庁、原子力発電環境整備機構《地層処分に関する科学的特性マップを提示しました》
2. 原子力発電環境整備機構《知ってほしい、地層処分》
3. 原子力発電環境整備機構《科学的特性マップに関する対話型全国説明会説明参考資料》
4. 行政院原子能委員會《日本高放射性廢棄物最終處置場址選址做法與經驗》

核災避難只是浪費生命和金錢

譯 張文杰



2011 年 3 月，日本發生了震驚全球的福島核災，超過 11 萬人離開了他們的家園，而選擇繼續留在家園的有 5 萬人。4 年半後，仍有近 8 萬 5 千人還沒有返回家園，仍然居住在遠離他們家園的臨時住所或其他城市。

將人們撤離核災區，看起來像是保障人們安全的最明顯選擇，但布里斯托大學風險管理教授湯瑪斯（Philip Thomas）和他的研究團隊刊登在 SCI 期刊 <Process Safety and Environmental Protection> 的研究卻顯示，這樣大規模的撤離很可能是沒有必要的，甚至造成更大的傷害而不是好處。

如何知道是否值得撤離？

首先，要計算出特定的核子事故會對預期壽命產生多大影響，湯瑪斯教授使用 CLEARE (Change of life expectancy from averting a radiation exposure) 的程式，這程式告訴我們特定劑量的輻射，會平均縮短人們多少壽命。

接著，還需要計算出撤離成本，才能知道是否值得撤離。為此，湯瑪斯教授和他的團隊研發出一種名為「J 值風險判斷法 (J-value)」。此法為評估各行業安全計畫的成本效益提供一個客觀工具。例如：核電廠

應該花多少錢保護工人？幫鐵路安裝新的安全信號系統是否符合成本效益？政府是否應該多花錢去防止道路死亡？

J 值風險判斷法會根據某一國家的工作與生活數據，然後藉由衡量該國的平均國民所得 (人均 GDP)，以及他們面臨風險的程度，進而計算出該國的 J 值。

簡單的說，J 值是要支出的金額除以可以提高他們的預期剩餘壽命，小於 1 的值表示支出是合理的，大於 1 的值表示支出可能不合理。要注意的是，預期壽命的提高是指從安全系統中獲得的益處，意味著比之前更加安全，而不是「拯救生命」。事實上，沒有人能夠挽救生命！可以做到最好的情況是，讓個人的預期壽命恢復到沒有具體危害時的水平。這種見解可以將評估方法推廣到涉及健康和安全的所有措施，包括醫療措施。

在核子事故中撤離並不是明智的決定

將 J 值風險判斷法應用在福島核災的撤離上，我們可以發現，疏散人們所提升的預期壽命太低而不符合經濟效益。如果當初沒有人撤離，當地居民的平均預期壽命將減少不到 3 個月，這代表實際上由輻射誘發的癌症死亡人數非常少。因為這次撤離的花費高達數十億美元以上，根據 J 值風險判斷法的計算，得到的 J 值遠遠大於 1，代表這沒有讓人們撤離的價值。與倫敦的情形來做比較，由於倫敦的空氣污染，倫敦居民的平均預期壽命減少了 4.5 個月，然而卻沒有人建議疏散倫敦居民呀！

湯瑪斯教授也有用 J 值風險判斷法去檢驗車諾比核災的撤離決定。在 1986 年的車諾比核災中，有 11 萬 6 千人撤離，只有幾百人違反規定回到他們的家鄉生活，他們被稱為「回歸者」。接著在 1990 年又撤離 22 萬人。湯瑪斯教授使用 20 世紀 80 年代末和 90 年代初烏克蘭和白俄羅斯人的數據去計算 J 值，結果是會減少 9 個月以上的預期壽命，才應該進行撤離。而符合這數字的僅有 3 萬 1 千人。即使採取更謹慎的態度，假設只要城鎮中一位居民失去了 9 個月以上的預期壽命，那麼整個城鎮就應該進行撤離，這樣符合撤離效益的也只有 7 萬 3 千人。而在 1990 年撤離的 22 萬人，跟福島核災類似，最多只有減少 3 個月的預期壽命，所以他們其實都不應該搬離家鄉。

英國曼徹斯特大學的研究團隊分析了全世界數百個可能發生的大型核子反應爐事故，他們發現撤離這項行動在他們審查的任何預期情況下，都不是一個明智的決定。

撤離家園是「弊大於利」

可能有人會爭辯說，如果人們的預期壽命受到威脅，他們有權撤離。但事實上進行極其昂貴的撤離行動，反而可能會傷害到應該幫助的人。例如，世界衛生組織的紀錄已經顯示，在車諾比核災中，撤離對災民造成的心理傷害非常巨大，包括他們相信他們的壽命注定會減少。

從災民的角度來看，相信他們的壽命注定會減少的想法完全合乎邏輯。我們不能期望災民能精準理解輻射的運作機制，但災民能夠預期會得到政府巨額的補償金額。因為政府以前從來沒有在他們身上花費過這麼多錢，所以這些補償金額，會讓災民認為輻射

一定會使他們出現非常糟糕的健康狀態，或是處於一個很可怕的情況之下。

東京大學醫學部放射科的中川惠一醫師也有相同的見解，福島核災後他去福島當地學校做輻射教育時，發現他們對輻射的了解很少，導致有許多不必要與錯誤的擔憂，例如有些師生會擔心影響到未來出生的小孩、罹癌率會增加，而事實上他們接受到的輻射劑量是低到不會有不良的影響，所幸在進行講課後師生的擔憂就有明顯的改善。另外，中川醫師也發現避難者因為避難的生活水準比之前來得差，謠言傷害等因素帶來的心理壓力又增加不少，所以生活習慣因此惡化，導致糖尿病等疾病有明顯的增加，反而和輻射有關的罹癌率都沒有增加。

湯瑪斯教授說，在大多數情況下，如果他們不是選擇撤離，而是留在家中，輻射的風險其實是很小的。希望車諾比和福島核災的撤離決定，不會讓「大規模搬遷」成為未來的主要政策選擇，因為撤離對任何人都沒有好處。

（本文譯者為清華大學工程與系統科學系研究助理）

表 1. 輻射教育演講前，福島師生對放射線有怎樣的印象？（可複選）

	可怕	罹癌率會變高	可能影響未來出生的小孩	日常生活出現障礙	對放射線不太瞭解
男性	21.2	51.9	17.3	19.2	21.2
女姓	36.0	62.0	56.0	12.0	6.0
合計	28.4	56.9	36.3	15.7	13.7

單位 (%)

表 2. 輻射教育演講後，福島師生對放射線有怎樣的印象？（可複選）

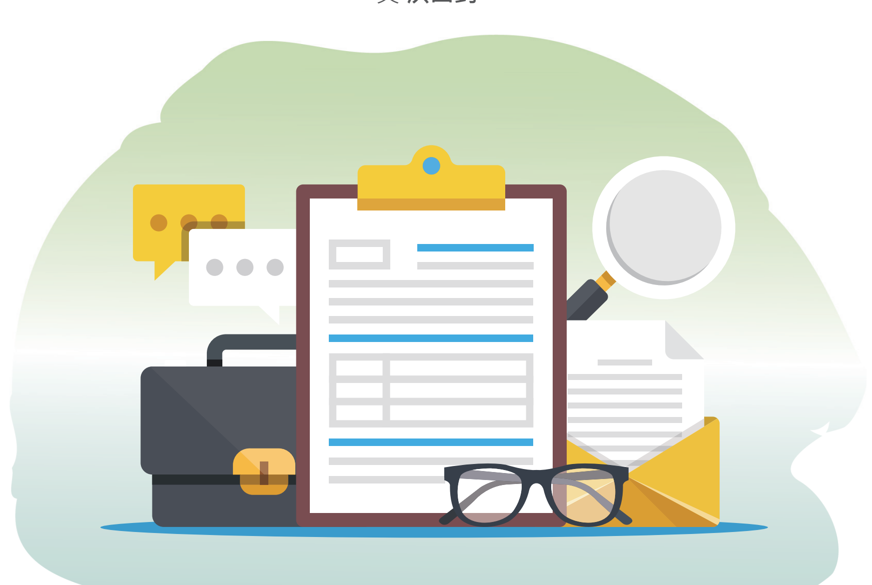
	可怕	罹癌率會變高	可能影響未來出生的小孩	日常生活出現障礙	對放射線不太瞭解
男性	21.6	21.8	7.8	15.7	4.0
女姓	14.0	27.5	0	8.0	5.9
合計	17.8	21.8	4.0	11.9	4.0

單位 (%)

原文連結：
Evacuating a nuclear disaster areas is (usually) a waste of time and money, says study：https://theconversation.com/evacuating-a-nuclear-disaster-areas-is-usually-a-waste-of-time-and-money-says-study-87697
補充連結：
J 值風險判斷法網頁：http://www.jvalue.co.uk/

核電廠除役計畫的品質管理

文 洪國鈞



對工作人員、大眾以及環境的健康與安全，或是對於核電廠除役計畫的成功與否相關連等，具有潛在危險性的任何活動，都需要擬定品質保證（QA）計畫，包括管理面與組織面的控制，以確保除役計畫能夠順利進行；對於這些具有潛在危險性的活動的品質保證計畫，應擬定相關程序書，並應使用精確資訊與技術，來查驗 QA 程序書的內容。

當所有的除役作業都是在受到控制的情況下，品質保證計畫才得以延續。而當作業過程或是管理方針有所改變的時候，品質保證計畫也會有所修正；反之，為了達成品質保證的要求，有時也必須對於組織與管理方針進行改造。對某些較危險的作業而言，品質保證計畫尤其重要，例如拆解與破壞等作業的進行。因此，簡單又容易執行的品質保證計畫是不可或缺的。

品質保證計畫也可以降低財務支出，好的品質可以避免因瑕疵造成不必要的開銷，此外，適當的品質保證程序可能可以降低作業潛在的危險性，使得除役過程能夠更加安全，避免放射性物質的外釋。當然，品質保證計畫的落實需依賴整體團隊成員的配合，良好的協調與溝通是必要的。

在執行除役計畫時，並非所有的設施都適用相同的品質保證水準與品管程序，因為並非所有除役設施的潛在風險與健康危害是一樣的，因此隨著除役設施的不同，其品質保證要求的可靠度也會有所不同。對於安全危害較低的除役作業，可使用較為寬鬆的品質要求，以避免過份保守造成不必要的開支。

在除役計畫展開後，依據「核子反應器設施除役許可申請審核辦法」規定，品質保證

計畫須詳載於除役計畫書當中；其品質保證計畫應至少包含下列項目與原則制定之：

1. 對於廠區變更的控管

由於除役過程中，廠區的使用與運轉時不同，因此對於除役工作來說，廠區結構、設計與使用上的變更應滿足簡單性與安全性的原則。

2. 輻射防護與環境安全的控管

為了確保輻射防護與環境安全的可靠性，應使用多樣的步驟與儀器進行輻射調查。而除役過程中，關於放射性樣品的收集與分析的相關守則應由電廠經營者中的輻射防護權責單位訂定，分析的結果應確保精確以及再現性，立場上應保持中立。

3. 對於承包商的控管

在除役作業的執行中，承包商的特殊技術與能力將有助於電廠經營者處理具有挑戰性的除役環節，然而為了確保環節的可靠，慎選承包商是電廠經營者的責任。

一般來說，具有專業認證或實務經驗的承包商是較為可靠的，可是電廠經營者仍必須監管、稽查承包商的作業是否符合合約上的要求，因為電廠經營者具有確認的責任。此外，電廠經營者應提供承包商健康與輻射防護上的諮詢與訓練，必要時，應提供安全警備等支援。假如發生承包商更換的情況，新的承包商需要擁有承接原承包商且完成承包合約的能力。

此外承包商若要變更合約內容，應透過制度化的程序完成，避免承包內容出現瑕疵。

4. 定期測試與檢驗

定期測試與檢驗（Surveillance and Inspections）的步驟是品質保證中獨立的部分，在重要的除役階段可敦請外部的檢驗人員來進行定期測試，如果該階段的各措施都無誤，則檢驗報告應與內部稽查文件一致。檢驗的內容包含測量儀器的校正、廢棄物的貯存與處置、材料的品質與特殊作業的確認等。此外，檢驗報告與稽查文件應具有相當的安全性，這項考量主要是避免相關資料被修改的機會。

5. 資訊的管理

在除役作業的品質管制計畫中，資訊的收集與紀錄是十分重要的，完整的資訊紀錄將有助於除役工作的進展，同時資訊紀錄應注意使用的方便性，這可使得管制單位得以有效地定期測試除役作業。品質保證所有的紀錄需求應詳列於除役計畫中，針對除役計畫而言，記錄內容應包含下列資訊：

（1）廢棄物與其他物質的紀錄（包含產源、特性、輸送等）；
（2）執照的細節，包含授權單位的文件以及除役過程中使用的準則與標準；
（3）設備與使用步驟的細節；
（4）所有的建議、稽查報告、修正行為、同意書與其他等同效力的文件；
（5）所有的安全評估文件；
（6）獨立的審查資料及相關文件；
（7）所有聲明文件與文獻；
（8）除役時使用的相關相片、圖像；
（9）最終輻射偵測報告與細節。

表 1. **常用儲存媒體優缺點比較**

媒 體	紙 張	微 縮 片	可讀寫電子媒體	唯讀的電子媒體
優 點	可直接閱讀 記錄簡便 在法規上可接受	可貯存大量資料 規格化的技術 在法規上可接受	可以被更新 可貯存大量資料	可貯存大量資料 易取得 貯存容易
缺 點	安全性差 需要良好的保存環境	使用不便 需要良好的保存環境	需要軟硬體的配合 易損毀 法規上的爭議	需要軟硬體的配合 法規上的爭議

在除役作業完成後，下列狀況應予以記錄或更新，包含：

（1）法規要求；

（2）除役後與除役作業相關，另行增加而未載於計畫書的作業；

（3）訴訟。

資料紀錄通常應包含：

（1）紀錄需求（如依何種法規要求）;

（2）紀錄格式 ;

（3）保存時限 ;

（4）記錄人員 ;

（5）責任歸屬 ;

（6）紀錄儲存媒介 ;

（7）紀錄儲存位置。

選擇適當的儲存媒體也是重要的考量項目之一，以下為 4 種主要的儲存媒體 :

（1）紙張 ;

（2）微縮片 (microfiche);

（3）可讀寫的電子媒體（磁碟或磁帶）;

（4）唯讀的電子媒體（CD-ROM 或 DVD-ROM）

表 1 所示為各儲存媒體的優缺點，使用儲存媒體應考慮資料使用的方便性與相關花費，包含花費於資料維護上的費用。如果儲存媒體的技術因科技發展而有所改變時，相關的資訊紀錄應具有轉換的可能性。

6. 稽查

除役計畫中安全性的稽查範圍應包含工作訓練的效能、設備可靠度、管理上的掌控、安全上的掌控、合理抑低 (ALARA) 的落實、緊急計畫、通報系統與曝露評估。稽查工作應建立在制度面的需求上，為了追蹤與回顧稽查結果，所有的步驟與相關需求在除役作業的執行之初便應該建立完成，尤其是輻射防護與環境安全的相關稽查。同時在某些情形下，稽查工作會鼓勵安全性的行為，並使得不安全的行為得到遏止。

7. 管理、評估及意外與異常事件的報告

電廠經營者對於管理、評估以及意外與異常事件的報告，有呈報管制單位的義務。當發生意外與異常事件時，其嚴重程度應依照國際核子事故分類（INES）與相關規定提出說明。

（本文作者為台電公司核能工程師）

輻射吃下肚怎麼辦？

文 編輯室



蔬菜、水果中都含有鉀元素，是一種天然放射性物質。

其實食物中含有天然輻射

我們常常說：「天然的尚好！」但是，如果是天然的輻射呢？

我們吃的米、豬肉、蛋、蔬菜、水果、麵粉、雞肉、海水魚、淡水魚中都含有鉀元素，鉀的同位素「鉀 40」，是一種天然放射性物質，所以鉀 40 就變成人體內最主要的天然放射性核種。天然放射性物質釙 210 則會經由土壤吸收進到菸葉中，大家還記得吧，抽菸也會有體內輻射劑量喔！

很多人去醫院看病時大約都有這樣的經歷，扭傷了腳，醫生會說:「去照個X光片吧，看看有無骨折！」頭暈頭痛時，「去做個頭部電腦斷層掃描（CT）吧！」

但不少人聽到時都顧慮重重，擔心這些大型醫療器材的輻射嚴重，危害健康，真的是這樣嗎？

照一次 X 光片到底會受到多少輻射？對健康會造成什麼影響嗎？

輻射在自然中無處不在

你可能很難相信，就連我們呼吸的空氣也同樣具有輻射，空氣中的輻射主要來自於氡。甚至每當我們呼吸或吃東西時，空氣中的放射性物質都能隨之進入我們的體內，造成體內照射。輻射無處不在，聽起來簡直防不勝防嘛！

其實也沒那麼可怕，因為它們的含量甚微，所以都是對人體無害的。要知道，中國大陸地區天然輻射對成年人造成的有效劑量平均每年有 2.3 毫西弗（mSv）。

照一張胸部 X 光片
等於吃了 200 根香蕉

科學上有一個名詞叫「香蕉等效劑量」，是用吃了多少根香蕉來衡量所受到的輻射劑量。這也表示我們吃的香蕉也是存有天然放射性的，香蕉的放射性來自於其含有的鉀 40。換算一下，拍攝一張胸部範圍大小的 X 光片，劑量大約是 0.02 毫西弗，相當於一口氣吃了 200 根香蕉所受到的輻射。

那麼，電腦斷層掃描的輻射相當於吃了多少香蕉？

拍攝一個部位的電腦斷層掃描受到的輻射劑量約為 6–10 毫西弗，相當於拍攝 300–500 張正位胸部 X 光片的劑量。是的！電腦斷層掃描的輻射劑量確實相對較高，照一次相當於吃下 6–10 萬根香蕉。其他高鉀食物還有：釋迦、奇異果、蕃茄、木瓜、青菜等。

但是，這已經是過去式了。科技的進步日新月異，現在已經可以做到把電腦斷層掃描單一部位檢查的輻射劑量降低到約 2-4 毫西弗。如較先進的 Definition Flash 雙源電腦斷層掃描，進行一次體檢胸部掃描甚至可以把劑量控制在 1 毫西弗以內，與乘坐一次台北往返紐約航程的輻射劑量無異。

說了這麼多，其實就是希望到醫院就醫的患者能科學、理性地認識輻射，該照 X 光片的就照，作為放射科的醫事人員會合理的控制醫用輻射，讓患者無後顧之憂。

接下來就讓我們看看，平常我們吃的食物中哪些含有輻射呢？

1. 香蕉

可能很多人看到香蕉會感到一絲驚訝，不過它的輻射劑量的確比你想像的要高。在機場和港口，香蕉甚至可能誘發輻射警報，所以你現在知道它們的輻射劑量有多大了吧。

香蕉的放射性主要來自鐳 226 和鉀 40。每公斤香蕉的輻射劑量約為 2,500–3,000 微微居里（pCi/kg, p=10^{-12}, Ci：居里）左右，乾燥水果是新鮮香蕉的 6 倍。當然，其輻射劑量對人體是安全的，並不會產生害處。吃 50 根香蕉使你受到的輻射劑量與照一次牙科 X 光受到的輻射劑量等同。

其實許多食物都擁有類似香蕉的天然放射性物質，例如馬鈴薯、葵花子、堅果、肉類、牛奶、稻米等，多少都含有放射性物質。而隨著人們平日的飲食，這些放射性同位素便被攝入人體內，但是它們對人體健康並沒有危害。

2. 胡蘿蔔

還有一種我們生活中常見的食物，那就是胡蘿蔔，相信它的上榜也會令很多人感到不可思議，它的放射性也是來自鐳 226 和鉀 40。每公斤胡蘿蔔約產生 3,400 微微居里的放射性，在類似胡蘿蔔的根莖類食物內，保護性抗氧化劑的含量也相當高，是天然的抗氧化食物。

3. 馬鈴薯

看過了胡蘿蔔的放射性，大家對馬鈴薯的上榜應該沒那麼驚訝了，和胡蘿蔔類似，馬鈴薯內的鐳 226 和鉀 40，每公斤會提供 230 微微居里的放射性。

值得注意的是，即使經過油炸等加工，馬鈴薯的放射性含量並不會減少太多。薯片和炸薯條等食物，也含有輕微的放射性。

4. 菸草

主管輻射安全的原子能委員會，抽驗國產和進口的菸品，確認都含有釙 210 這種放射性的核種。三軍總醫院核子診斷科兼正子中心主任諶鴻遠說，釙 210 早已被認為會導致肺癌。菸草中也含有釷等其他放射物質，直接或間接導致肺癌、血液腫瘤。

每天抽 1 包菸，持續 1 年，如同曝露在 10 毫西弗的輻射劑量。每天抽 30 支（1.5 包）的老菸槍，等於每年吸進 13 毫西弗的輻射劑量，是法定安全標準每人每年 1 毫西弗的 13 倍，相當於 1 年照了 650 張胸部 X 光片，所以建議儘量不要抽菸。

5. 低鈉鹽

低鈉鹽的放射性來源很明顯，那就是鉀元素。在低鈉鹽中含有大量的氯化鉀，每公斤能夠提供 3,000 微微居里的放射性含量。相較於低鈉鹽，無鈉鹽含有更多的鉀元素，也就意味著含有更高的放射性。

2018 年初，由原子能委員會公告的「市售食用鹽放射性含量分析」發現，淡路島藻鹽的鉀 40 含量為 11,564 貝克 / 公斤 [1 居里（Ci）= 3.7×10^{10} 貝克（Bq）]，引起民眾譁然。食藥署表示，依據世界衛生組織統計成人一天約攝食 10 公克的鹽，假設飲食都使用這種鹽品，一年從鹽之中所攝取的輻射劑量約為 261.7 微西弗，仍遠低於每年容許攝取量 1,000 微西弗，因此不會有輻射安全顧慮。

6. 紅肉（牛羊肉）

紅色肉類中有含量可觀的鉀元素，且以鉀 40 的形式存在。一塊牛排或一個漢堡的放射性含量可達 3,000 微微居里 / 公斤。

煙草中含有釙 210 的放射性核種





紅肉主要包括牛、羊肉。



最具放射性食物 – 巴西堅果。

除了鉀元素，紅肉也是蛋白質和鐵元素的主要來源。相較於很多人擔心的放射性風險，肉類中高含量的飽和脂肪所帶來的健康風險，才是最值得我們注意的。

7. 啤酒

這種常見的酒精飲料的放射性主要來自內部的鉀 40，不過啤酒的放射性濃度相當低，每公斤只有 390 微微居里，約為一杯等量胡蘿蔔汁的 1/10 放射性濃度。那麼問題來了，啤酒和胡蘿蔔汁哪個才是更健康的呢？

8. 飲用水

我們每天飲用的水也是含有放射性的，因為它並不是純粹的 H_2O。飲用水的放射性來自地下的氡元素，不同水源其放射性濃度略有不同，平均來說每公斤約為 0.17 微微居里以下。

9. 花生醬

花生醬的放射性是來自鉀 40、鐳 226 和鐳 228，它的蛋白質和不飽和脂肪酸含量也相當高，所以不要被輕微的放射性含量嚇到啦！適量的食用花生醬對健康大有裨益。

10. 放射性冠軍—巴西堅果

如果有「最具放射性食物」這一獎項的話，那麼冠軍非巴西堅果莫屬。在巴西堅果中大量含有兩種放射性元素：鐳和鉀。鉀對人體是有益的，可以參與體內多種生化反應，這也是人體具有輕微放射性的原因。

另一種放射性元素—鐳，主要來源於植物根系吸收地表的各種礦物質。這兩種元素的存在使得每公斤巴西堅果的放射性含量約為 6,600 微微居里。

不過無需擔心，這些輻射大部分都會穿過人體，並不會造成傷害。而高含量的硒等礦物質的存在，讓這些堅果更健康，適量食用對身體好處多多。

11. 利馬豆

利馬豆（又稱洋扁豆、緬甸豆）的放射性主要來自高含量的鉀 40 和鐳 226，其中鐳 226 帶來的放射性每公斤約為 2-5 微微居里，而鉀 40 則能帶來 4,640 微微居里的放射性。雖然鐳元素不會為我們帶來什麼好

處，但鉀元素是人體必需的礦物質之一。此外，利馬豆還含有大量的鐵元素。

以上就是自然界中天然的放射性食物，其中大部分都是非常常見的，可以看到大部分放射性是來自鉀元素，而食物的營養素遠遠大於輕微的放射性含量。因此我們不必談「輻射」色變，大部分放射性物質就像這些食物，並不會對我們造成傷害。

只要不超標 安啦！

鉀化合物的放射性來自天然鉀40的比例，利用時並不須去除，因為它是地球礦物，並非人造，也非汙染。鉀是必需的營養素，因此所有的動植物組織，以及人體內都含有這個核種，70公斤成人體內的鉀總量約245公克。因為人體含鉀多，所以是體內最多的放射性核種，約占人體內部輻射量的50%；自身或食物都無法避免。把每天從蔬果或是營養補充劑所攝取的鉀純化出來，也會有一樣高的放射性。

成功大學環境微量毒物研究中心主任李俊璋表示，其實任何標準限量在制定的時候，都已經將不同體質的人考慮進去，並且制定出吃一輩子也不會有危害的劑量。

此外，每人每年的容許輻射有效劑量為1毫西弗（相當於1,000微西弗），依照農委會在2014年調查國人一年平均攝取魚類食品的總量為19.09公斤，以目前魚類的放射性限制標準來看（每公斤銫134與137相加後為100貝克），代表一年可以吃到800公斤的魚類，相當於一天吃下2.3公斤，以一般人的食用量來說，根本不需要擔心。由此



利馬豆又稱洋扁豆、緬甸豆。

也可見容許攝取量的標準，離一般人的食用量有很大的距離，這都是制定標準時已考量到的狀況，因此若有驗出超標，真的對人體健康的危害甚微。

萬物都有輻射，是我們生活中無法避免的，但是只要依照正常食用，非長期暴飲暴食特定食物，其實攝取量都不會有問題。至於市售的日本食品，也都經過食藥署的檢驗與把關，就算真的有微量超標，距離真正會危害人體健康的劑量仍然有距離，不需要過度擔憂。

資料來源：

1. 什麼！香蕉竟然有輻射？拍一次胸部x光片的輻射等於吃200根香蕉！https://kknews.cc/health/z2gxqmq.html
2. 衛福部國民健康署菸害防制網 http://tobacco.hpa.gov.tw/Content.aspx?MenuId=556&CID=21025&year=0&month=0
3. 前方輻射高能！10種常見天然放射性食品 https://kknews.cc/zh-tw/health/lrqm5b.html
4. 減鈉鹽是保健食品，不是輻射食品 http://www.commonhealth.com.tw/article/article.a 電腦斷層掃描 ion?nid=75836
5. 食物含有輻射值 吃了好害怕？其實萬物都有輻射 http://www.foodnext.net/life/lifesafe/paper/5852110144

芬蘭預計2030年淘汰燃煤

譯 張文杰



荷蘭 Olkiluoto3 號機依計畫將於 2018 年 12 月商轉。(新聞簡訊第 164 號, 2017 年 8月18日) 圖片資料來源:live.iop-pp01.agh.sleek.net/2016/03/18/a-nuclear-revival/

芬蘭政府官員表示,芬蘭將在 2018 年通過立法,逐步淘汰煤炭並提高碳稅,而淘汰煤炭產生的缺口,將透過新增兩部核能機組來填補。

芬蘭經濟事務暨就業部總幹事胡騰恩(Riku Huttunen)告訴路透社,目前的策略是在 2030 年前淘汰煤炭並提高碳稅,並且在 2018 年通過立法啟動這一進程,進而實現邁向綠色能源的國家。

根據國際能源總署 (IEA) 的資料顯示,芬蘭高度依賴進口化石燃料 (煤、油和天然氣),其中煤炭占全國消費量的 10% 左右,是所有北歐國家中使用煤炭最多的國家。根據國際原子能總署 (IAEA) 的資料,芬蘭現在有歐基盧歐圖(Olkiluoto)和洛維薩(Loviisa)兩座核電廠,共有 4 個核能機組,在 2016 年的核能發電量約占 34%。

芬蘭希望透過減少能源進口來增加國家能源安全,約 70% 的煤由俄羅斯進口。胡騰恩總幹事表示,為了應對淘汰煤炭而產生的缺口,芬蘭將不得不增加其他燃料來源的能源產量,而且立法時要注意靈活性,以確保電力的穩定供應,避免停電風險,新增核能機組就是芬蘭的答案。

芬蘭目前有兩部新建核能機組,分別為歐基盧歐圖 3 號機和俄羅斯供應的漢希克維(Hanhikivi)1 號機,為了替代煤炭資源,芬蘭政府努力確保歐基盧歐圖 3 號機於 2018 年 12 月可商轉,漢希克維 1 號機則於 2024 年可商轉。這兩部機組的上線,芬蘭屆時將有近 60% 的電力來自核能發電。

資料來源:
www.nucnet.org/all-the-news/2017/09/04/finland-plans-phaseout-of-coal-with-nuclear-to-help-fill-gap

美國眾議院通過
重啓雅卡山最終處置場計畫



譯 編輯室

美國眾議院於今（2018）年5月10日，以340票贊成、72票反對的結果通過了《2018年放射性廢棄物政策法修正案（H.R. 3053, the Nuclear Waste Policy Amendments Act of 2018）》，將加快雅卡山最終處置場的許可審核程序，也將為美國的用過核燃料提供集中式中期貯存。

美國國會於1982年頒布《放射性廢棄物政策法》，正式確立了一項全面核子廢棄物管理策略，為國內深層地質處置場的選址、建設與運轉制定了法律框架，替用過核燃料與其他核子相關廢棄物進行最終處置。該法案也賦予美國能源部（DOE）需永久處理用過核燃料的責任，並建立了「使用者付費」的供資模式，即利用從核能獲益的納稅人，向聯邦政府繳交的費用，來替最終處置計畫提供資金。

截至今日，相關納稅人已向能源部繳納了400多億美元，但用過核燃料仍分散在美國各地。該法案也設定了政府（透過能源部）需在1998年開始將各核電廠內的用過核燃料移出，至一座聯邦設施作最終處置。該法案於1987年修法後直接指定位於內華達州的雅卡山為聯邦處置場的唯一場址。而能源部在2008年時曾向核能管制委員會（NRC）申請核發設施執照，但卻於2010年決定取消申請，審查的過程也於2011年暫停，2013年則因為美國上訴法院的命令而重啟審查。

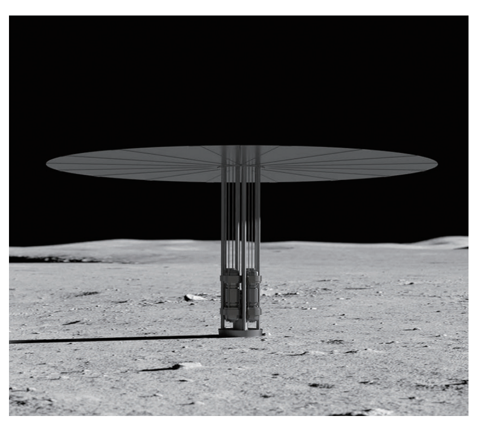
這次的修正案是在去（2017）年先由眾議院下的能源暨商業小組委員會（House Energy and Commerce Subcommittee）以49：4的表決通過，內容保留了雅卡山作為「替用過核燃料與高放射性廢棄物找到落腳之處」的最快捷徑，同時授權中期貯存設施（含私人營運之貯存設施）營運，直到雅卡山可以接收用過核燃料。目前美國的用過核燃料均暫存於各核電廠內。

該修正案還涵蓋處置場相關議題，如聯邦土地撤出與管理、核管會審查流程與條件、改革融資制度等，也將處置場內的法定貯存量自70,000噸提高至110,000噸。

資料來源：
World Nuclear News. “Bipartisan majority for pro-Yucca Mountain bill.”

美國 NASA 迷你核反應爐成功完成測試

譯 編輯室



於月球表面的裂變動力系統概念照 (圖片來源 : NASA)

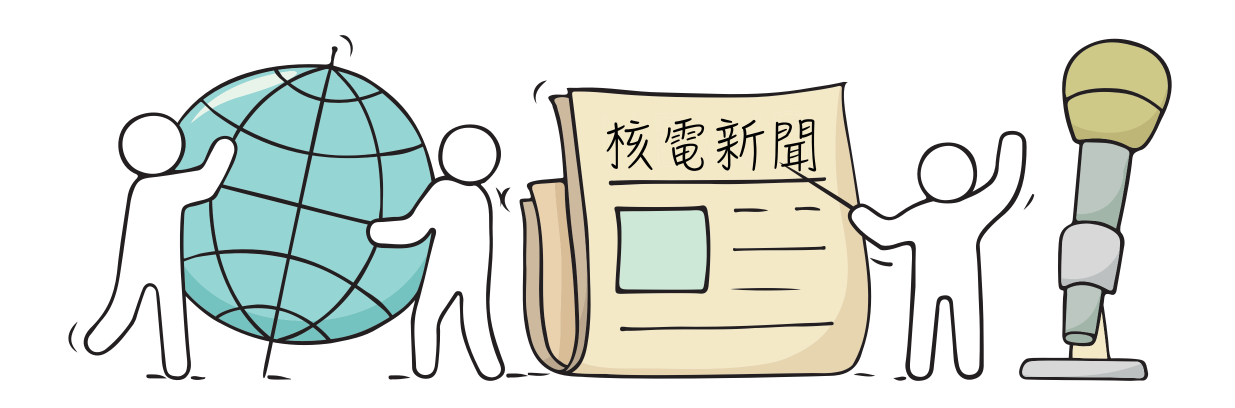
美國國家航空暨太空總署（NASA）最近宣布，與美國能源部國家核安全局（NNSA）聯合研發，使用史特林技術（Kilopower Reactor Using Stirling Technology） 的「千瓦動力（Kilopower）核反應爐」，已通過初步的示範測試，成功展示了一種新型反應爐動力系統，該系統可替前往月球、火星，以及更遙遠目的地的長期飛行任務提供持久、穩定的動力。

千瓦動力反應爐屬一種極小型、輕盈的核裂變系統，如其名一般，能提供約 10 瓩的電力，足以供給數個一般家庭至少 10 年的電力使用。僅 4 部這樣的反應爐裝置即可為建立一個火星前哨站基地提供足夠的電力，這種裝置還可連續運轉 10 年不用更換燃料。

千瓦動力反應爐所使用的鈾 235 爐心，大小與一捲紙巾差不多，透過被動式鈉熱交換管將反應爐產生的熱傳送至高效率的史特林發電機，將熱能轉成電力。NASA 自去（2017）年 11 月開始至今年 3 月，在美國內華達州沙漠的舊核子試驗場替千瓦動力反應爐進行測試，目的為驗證該種小型反應爐的可行性，與在異常情況時的安全性。執行團隊進行了 4 個階段的實驗，前兩個階段是在反應爐沒有發電的情況下，在第三階段試驗時把電力逐漸提升，並進入第四階段以滿功率成功運轉 28 小時，測試內容涵蓋反應爐啟動、功率逐步提升、穩定運轉及停止運轉，以及面臨各種故障時是否能成功處理。

與太陽能發電不同，千瓦動力反應爐不會受到天黑的影響，因此非常適合用來執行月球探測任務，因為月球上的一個晚上，相當於地球時間的 14 天，如此不需依賴環境且可獨立工作，可得到廣泛的應用。相關工作人員表示，這次的實驗除了證明這種反應爐可利用核分裂來生產電力外，也證明該系統在面臨到不同的環境時，仍可以安全、穩定的運轉。

資料來源：
NASA. "Demonstration Proves Nuclear Fission System Can Provide Space Exploration Power."



國外新聞

比利時通過逐步淘汰核電政策

比利時政府於最近通過了一項能源策略，將在 2022 年至 2025 年間淘汰境內 7 部核電機組，獲得的投資將會分配給再生能源，尤其是離岸風力發電場。相關草案將於 5 月底前準備好，提交至部長理事會（即內閣）。

比利時有多爾（Doel）與蒂昂日（Tihange）兩座核電廠，分別有 4 部與 3 部壓水式反應爐。代表 12 個核工業相關組織、總部位於布魯塞爾的核能協會（Nuclear Forum）對此表示，逐步淘汰核電將降低比利時達到氣候目標的機會，碳排放在 2050 年時也將增加 3 倍。該協會補充，即使再生能源的份額在未來數年內大幅增加，我們仍會需要訴諸其他的能源來補充穩定的電力；核能發電讓我們維持可負擔的電價，給我們電力供應安全的保證，並實現降低二氧化碳排放的氣候目標。

這 7 部核電機組獲准運轉到 2025 年底，這次的逐步淘汰核電政策，將不會更新這些機組的運轉執照年限。而這兩座核電廠也一直處於安全問題的焦點上，2013 年時在兩座核電廠的機組內均發現細微裂縫，直到 2015 年才關閉這些機組進行全面的安全檢查。多爾核電廠 1 號機還在政府通過該策略後發生少量冷卻水洩漏的意外，雖然監管機構表示此次洩漏本身並不構成安全問題，將會根據國際原子能總署（IAEA）的《國際核子事故分類》進行等級評估。

Nuclear Engineering International, 04/04/2018 & 05/02/2018

美國能源部頒發 6,000 萬美元支持發展先進核能技術

美國能源部（DOE）部長佩里（Rick Perry）於今（2018）年 4 月底宣布，已挑選出 13 個先進核能技術研發計畫，這些計畫將獲得 6,000 萬美元的聯邦資金（約 18 億元新台幣）來分攤研究與開發先進核能技術的成本。

這些計畫是美國能源部核能辦公室「美國先進核能技術發展的企業機會」專案招標聲明的第一批計畫，在未來 5 年內每 3 個月都會進行申請的審查與挑選。美國能源部也打

算於 2018 財政稅務年為這項專案申請更多的補助。

佩里表示，這些新的投資是未來復興核能重要的一步，也確保美國能繼續受益於這乾淨、可靠且有彈性的電力能源。另外，對目前的先進反應爐技術開發給予支持，將為更安全、高效率且乾淨的基載電源鋪平未來道路，尤其這些能源支撐著美國的經濟與能源獨立。

U.S. Department of Energy, 04/27/2018

美法企業在美建設「集中式用過核燃料貯存設施」進行合作

法商亞瑞華在分解重建後，發展核子材料開發、核燃料循環與廢棄物管理的新亞瑞華公司於今（2018）年初宣布更名為歐安諾（Orano）；保留反應爐業務的原亞瑞華公司則更名為法瑪通（Framatome），由法國電力公司（EDF）所收購。歐安諾在美國的子公司與美國廢棄物處理公司 WCS 將合資成立相關企業，來推動在美國德州安德魯斯郡（Andrews County）的集中式用過核燃料中期貯存設施的發照許可工作。

合資成立的企業將會對美國核能管制委員會（NRC）提出恢復該座中期貯存設施許可申請的審查作業，這項建設許可申請由 WCS 於兩年前提出。兩間公司聯合表示，合資成立的企業結合歐安諾於用過核燃料包裝、貯存以及運輸方面的專業知識，以及 WCS 效力於核工業與美國能源部所獲得之運轉核子設施的經驗來經營。

Nuclear Engineering International, 03/19/2018

日本大飯核電廠 4 號機重啓、伊方核電廠 2 號機除役

日本關西電力公司宣布，位於福井縣的大飯核電廠 4 號機組已於近期開始併網發電，預計將於 6 月初正式投入商業運轉。日本原子力規制委員會（NRA）在去（2017）年 5 月時宣布大飯 3、4 號機通過福島事故後啟用的新制安全審查，也批准關西電力公司強化該兩部機組的計畫，福井縣政府也在 11 月時同意重啟這兩部機組，這也是日本首次有發電量超過 100 萬瓩的大型機組獲准恢復運轉，關西電力公司也表示，在兩部機組順利恢復運轉後將調降電費。

關西電力公司於 2 月時開始 3 號機的燃料裝填工程，於 3 月中重啟並於重啟隔天達到臨界，自 4 月 10 日正式投入商轉；4 號機則於 4 月初完成燃料裝填，已於 5 月 9 號重啟，也於重啟隔天達到臨界，於 5 月 11 日併網發電。大飯 4 號機也成為日本 39 部核電機組中第 8 部重啟的機組，其他 7 部分別為：川內核電廠 1-2 號機、玄海核電廠 3 號機、伊方核電廠 3 號機以及高浜核電廠 3-4 號機，另外還有 17 部機組已向原子力規制委員會提出重啟申請。

另外，位於愛媛縣的伊方核電廠 4 號機，則成為福島事故後第 9 部宣布除役的核電機組。四國電力公司對此表示，為了要符合新制核安標準需做出的改良與升級並不符合經濟效益，因此決定除役這部屆齡 40 年的核電機組。

伊方 2 號機為 53.8 瓩的壓水式反應爐，自 1988 年開始運轉，與日本其他核電機組相同，在福島事故後均停機接受安檢。而伊

方 1 號機則於 2016 年 3 月就已宣布除役，3 號機則獲准重啟，為日本 8 部運轉中核電機組其中之一。

World Nuclear News, 05/14/2018 & 03/27/2018

日本地方法院駁回終止大間核電廠建設工程申請

日本北海道函館地方法院於最近駁回一項「停止大間核電廠的建設與運轉」的訴訟，主審法官以「目前很難判定該電廠有發生重大事故的危機」為由，判函館民眾敗訴。位於日本青森縣的大間核電廠，建設工程始於 2008 年中， 原預計於 2014 年底開始商轉，在 2011 年的福島事故發生時大間 1 號機建設工程已完成了近 4 成，並於事故後全面暫停，後來於 2012 年 10 月恢復。

營運廠商日本電源開發公司（J-Power）當時表示，他們將會吸許福島事故的教訓，盡全力建造一座安全的核電廠。而該部機組的建設工程也因安全設備的變動與升級而不斷延後，若順利通過管制機構審查，預計將在 2024 年或 2025 年開始投入運轉。

而這次的訴訟焦點集中在大間核電廠周邊是否存在活動斷層，以及該地區是否存有火山噴發的風險等。此外，大間 1 號機也將成為日本首座使用鈾與鈽混合燃料（混合氧化物）的反應爐，起訴人也對該電廠使用這種燃料表示擔憂。日本電源開發公司對此判決表示：「到目前為止，我們均小心、堅持地證明了大間核電廠的安全。」宣布法院已認可他們提出的訴求，未來會向擔心的民眾提供最新資訊，地方法院也駁回了工廠施工禁令與支付居民損害賠償的要求。

World Nuclear News, 03/19/2018

全球首座 AP1000 開始燃料裝填

位於中國浙江省的三門核電廠 1 號機組，獲得中國國家核安全局批准後於 2018 年 4 月底，開始填裝反應爐爐心燃料，中國國家原子能機構表示，這代表中國第三代核電自主化——全球首座 AP1000 反應爐的設計、設備、建設安全、生產過程均已達到標準，也即將投入運轉。該部機組採用美國西屋電氣公司所引進的 AP1000 核電技術，由國家電力投資集團所屬的國家核電技術公司負責技術引進、消化、吸收以及再創新，並實施核電機組工程統包，由中國核工業集團負責建設與營運。

該部機組原預計 2017 年夏季進行燃料裝填，但當時監管機構尚未批准。中國國家核安全局表示，在開始燃料裝填前已對三門 1 號機，進行為期 6 年的安全審查，指派相關人員監督施工過程，該部機組符合設計安全目標，施工品質良好。根據西屋電氣的聲明，完成燃料裝填後，機組將達到首次臨界與電網同步，並逐漸進行功率提升測試，直到所有測試均安全完成並達到 100% 功率發電。

西屋集團合夥 The Shaw 集團，於 2007 年獲得授權，在中國建立 4 座 AP1000 機組，兩部在三門核電廠，另兩座在山東的海陽核電廠。目前三門 1 號機的熱測試已於 2017 年結束，預計將在今年年中開始首座 AP1000 的運轉，海陽 1 號機以及三門 2 號機預計將在今年年底投入運轉，海陽 2 號機則預計於 2019 年啟用。

Nuclear Engineering International, 04/26/2018

國內新聞

今年供電力求穩定 明年盼達成法定備用容量率目標

外界持續關注我國今年及未來供電情形，台電說明，近年受經濟持續成長及極端天候影響，用電屢創新高，2018 年用電量預估較去年成長，面對夏日用電高峰的挑戰，台電將作好準備，5 月底前完成機組大修，並加強發電設備運轉維護，另外也有新機組加入供電的行列，同時也從需求面管理著手，以達成穩定供電的目標。

台電表示，隨著通霄新 1、2 號機、大林新 1、2 號機、林口新 3 號機等新機組陸續上線，預估明年備轉容量率將提升至 10%、備用容量率達成法定目標 15%。

因應未來用電需求，台電將持續推動電源開發計畫，每年皆規劃新增發電機組上線，2020 年起有通霄新 3 號機、大潭 8、9 號機、興達新 1-3 號機、台中新 1、2 號機、協和新 1 號機及深澳新 1 號機等陸續商轉。此外，台電也積極發展風力、太陽光電與地熱等再生能源，政府亦規劃逐年新增再生能源，於 2025 年達成再生能源占比 20%。

本刊訊．2018/05/11

綠能創新 首座離島大型微電網誕生澎湖七美

2018 年初台電在澎湖七美綠能園區完成「智慧微電網示範系統」，包括增置 200kWp(峰瓩)太陽光電系統及 300kWh（每小時瓩）儲能系統，成功推導出最佳成本效益的能源容量配置，提升綠能供電品質，並降低發電成本。台電指出，未來將繼



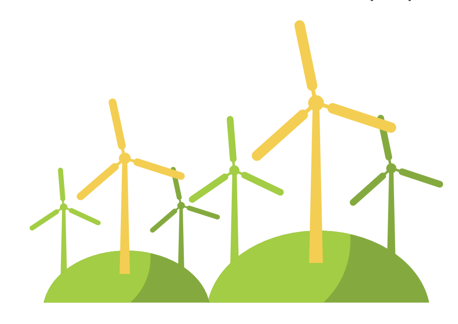
七美綠能園區

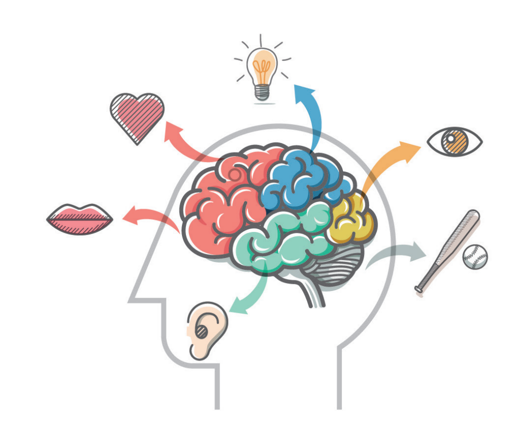
續擴增澎湖七美的綠能發電及儲能系統，預計 108 年各項建設完成後，綠能發電量可達 337 萬度，約占全島年用電量的 43%，將澎湖七美打造節能減碳的「低碳島」。

七美島現約有 4,000 位居民，每年近 780 萬度用電主要仰賴七美發電廠，總裝置容量 4,000 瓩的柴油發電機供應全島電力。

為了運用澎湖當地充沛的日照及風力，台電積極發展綠能來減少碳排。自 2010 年起，台電在占地 2 公頃的七美綠能園區設置太陽光電系統，第一期計畫已建置 155kWp 的裝置容量，第二期將再增設 200kWp 太陽光電系統，預計全年太陽光電發電量可達 48 萬度，終極目標是系統在離峰時段可達 100% 的綠能發電。

本刊訊．2018/05/15





什麼是放射性與輻射？(八)

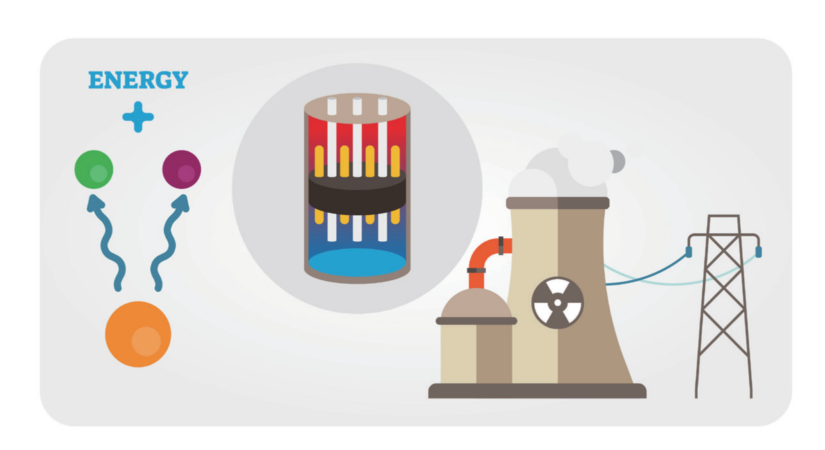
文 朱鐵吉

Q 20：核能是怎麼一回事？

A 核能是人類在 20 世紀的新發現，它是與至今為止的化學能的火或電完全不同性質的能源，也稱為原子能。不幸的是核能首先用於軍事，出現了核彈 (原子彈)、氫彈的悲劇，但隨後同時進行了以和平利用為目的的核能發電，現在世界開發中及已開發國家均有核能發電廠的設置。

1986 年 4 月車諾比核電廠發生重大事故後，世人對核能發電的談論變得嚴厲了，一時出現了不使用核能發電或凍結現狀的傾向。後來，出現化石燃料資源逐漸枯竭和地球環境的問題，特別是二氧化碳使地球變暖成為人們關注的議題，所以重新認識核能可作為解決這些問題的一種對策。因此在車諾比事故之後，核能發電機組的數量還是在增加中。

核能除了分裂能之外還有熔合能。現在的核能發電，是利用鈾 235 或鈽 239 分裂時

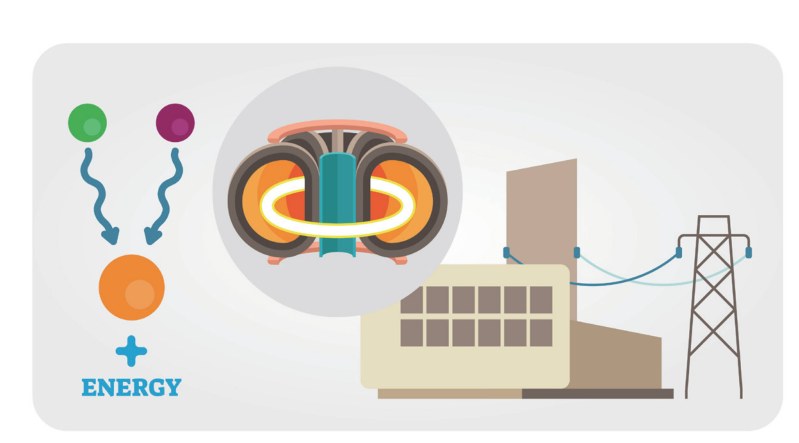


現在的核能發電是利用鈾 235 或鈽 239 分裂時產生的熱能進行發電

產生的熱能進行發電，而把鈾、鈽等稱為核燃料。另一種是核熔合發電，它利用氫原子核熔合時產生的熱能進行發電。現在先進國家之間正積極地進行開發核熔合發電技術，作為最終的能源。

與化石燃料相比，核能發電的能源密度高得多（約 300 萬倍），因此少量的核燃料就可以發出很大的能量，而且有不排放二氧化碳等優點。它的缺點是產生帶有放射性的廢棄物，但產生的廢棄物量比化石燃料的廢棄物量少很多，以現階段的技術要處置放射性廢棄物已經沒有問題，只是需要民眾的理解與社會的共識與接受。

另一種是核熔合發電，它不會產生放射性廢棄物，因而比現在的核能發電更優越，但其缺點是待解決的技術問題堆積如山。現在核能發電雖然還有放射性廢棄物的處理和處置等難題，但從保障能源安全和保護地球環境這兩個觀點來看，在核熔合發電尚未實用化以前，在一定程度上還要依靠現在的核能發電廠。現在的核能發電在熔合發電實用化以前處於「過渡性」的地位。



核熔合利用氫原子核熔合時產生的熱能進行發電

Q 21. 核能發電的原理是什麼？

A 如同自行車上的磨電燈，電可以由發電機旋轉而產生。水力發電是用水的動能驅動水輪機、帶動發電機而發電；火力發電是用化石燃料將水加熱成蒸汽，蒸汽驅動汽輪機，帶動發電機而發電的。核能發電是如圖 1 所示，核反應爐中產生分裂，此時產生的熱能將水加熱成蒸汽，之後的步驟和火力發電完全相同。

自然界存在的鈾是質量數不同的鈾 235 和鈾 238 的混合物，能分裂的鈾 235 的含量僅為 0.7%，不分裂的鈾 238 則占 99.3%，因此天然的鈾比較難分裂。濃度高的稱為「濃縮鈾」，將鈾 235 的濃度提高稱為「鈾濃縮」。為了安全，核能發電採用的是 2-4% 的濃縮鈾，而原子彈採用的則是 90% 以上的濃縮鈾。

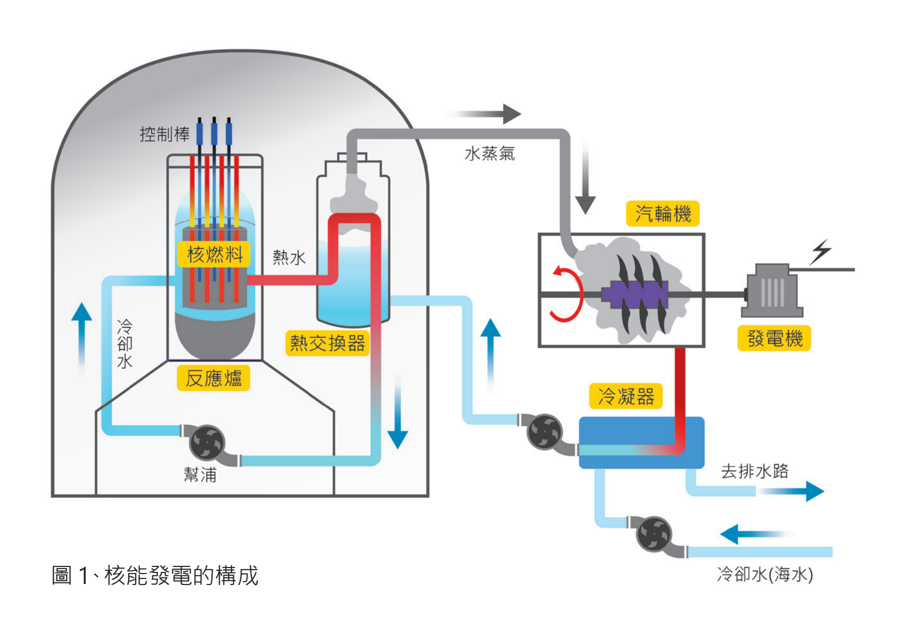


圖 1、核能發電的構成

核反應爐是由下面 4 個要素組成的：

1. 核燃料；
2. 冷卻劑；
3. 減速劑；
4. 控制棒。

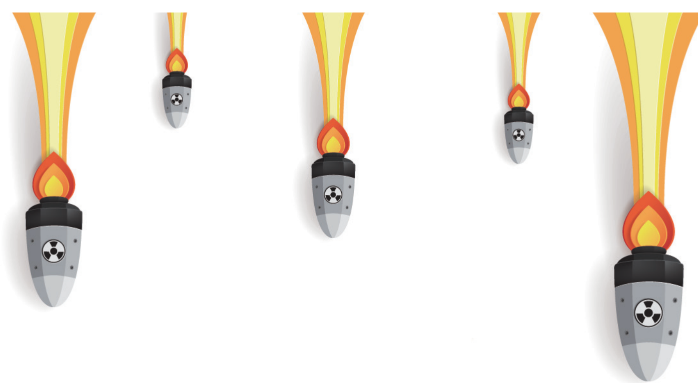
核燃料 (燃料棒) 是在金屬管中裝濃縮鈾而製成的。在其中產生分裂，因而燃料棒自身由內部發熱，所以燃料棒必須用冷卻水不斷冷卻。

冷卻水得到由燃料棒發出的熱而成為蒸汽，核能發電就是利用這種蒸汽進行發電的，但如果核反應爐內冷卻水沒有了，核反應爐就處於「燒乾」狀態，燃料棒本身的溫度就會達到金屬管的熔點以上，具有高放射性的分裂產物，就會從金屬管中間洩漏，釀成事故。

速度慢的中子容易引起核分裂，但核分裂時射出的中子是高速的，後續難以再產生分裂，因此讓快中子與較輕的元素做多次碰撞之後就會被減速。可以發生這個作用的材料稱為減速劑，除了普通水之外，還可使用重水、鈹、石墨 (碳) 等做為減速劑。

世界上大部分的核反應爐，採用普通水 (也叫輕水) 做為冷卻水，這種核反應爐稱為「輕水核反應爐」。車諾比型的核反應爐與輕水核反應爐型式不同，它用「石墨」作為減速劑，石墨是可燃材料，會引起火災而使事故蔓延。

從圖 1 也可以看到控制棒布置在燃料棒附近，其材料採用可吸收中子的性能很強的鎘 (Cd) 或硼 (B)。這樣，分裂時放出的中子在到達下一個鈾 235 原子核之前就被控制棒吸收了，核分裂反應便得以控制住。控制棒經過往上、下不同方向的移動，可成為調節鏈式反應 (也就是調節核能發電的功率) 的機制。控制棒向下插入核反應爐的中心時就如同「煞車」的作用，提高到淺的位置就如同「踩油門」的作用。



22. 核彈和核電廠有什麼不同？



核彈和核能電廠的根本差別：

1. 鈾 235 的濃度不同；
2. 有沒有控制棒。

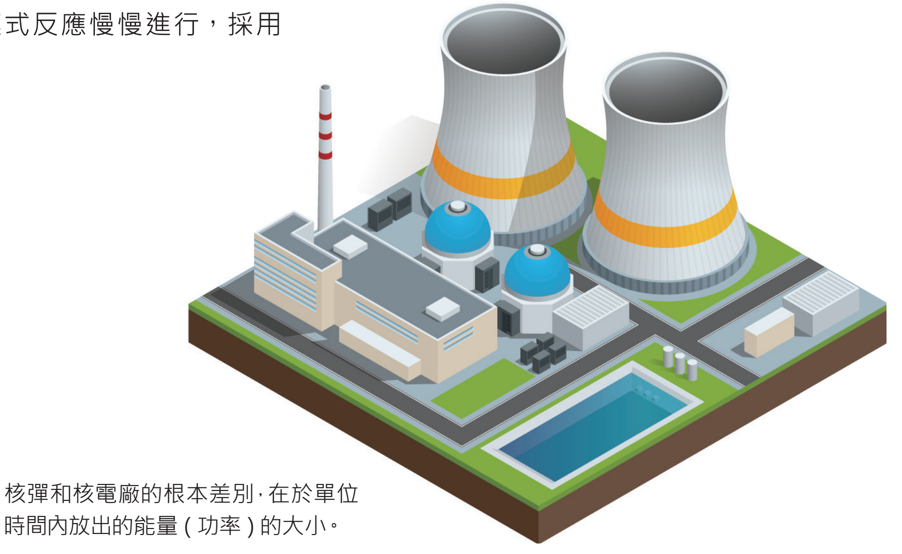
核彈和核電廠的根本差別，在於單位時間內放出的能量 (功率) 的大小。核分裂的功率隨鈾 235 原子核與中子碰撞的頻率增加而增加，因此核電廠為抑制核分裂的功率，採用兩種方法：

1. 減少鈾 235 的原子核數目 (降低其濃度)；
2. 減少撞擊鈾 235 原子核的中子數目。

核彈使用鈾 235 濃度為 90％以上的濃縮鈾，核電廠則為使鏈式反應慢慢進行，採用 2-4％的濃縮鈾。

核彈在核分裂時，平均放出 2.5 個中子，大部分都用於下一級的分裂，藉由鏈式反應迅速傳開，經過無數次的反應，中子數和分裂數每一次都以 2.5 的倍數急劇增大，隨之在瞬間釋放出巨大的能量。核電廠則與此相反，在核反應爐內布置了控制棒，使鏈式反應無法急速地進行。

（本文作者為清華大學原子科學系榮譽退休教授）



核彈和核電廠的根本差別，在於單位時間內放出的能量 (功率) 的大小。

何博士的日常豆知識

Q：輻射好可怕？
你知道香蕉也有輻射嗎？

要來根香蕉嗎？

核能發電
會有輻射
好可怕喔！

傻孩子，
你聽過天然輻射嗎？

背景輻射就在你我身邊！
從香蕉到人類、從太陽到海水全都是輻射源，

只要在安全劑量內就不用擔心，
不會因為是天然的背景輻射
或核電廠的人工輻射而有所不同喔！

正確了解輻射，不再莫名恐懼

